Winnacker/Wirtz

Das unverstandene Wunder Kernenergie in Deutschland

ECON

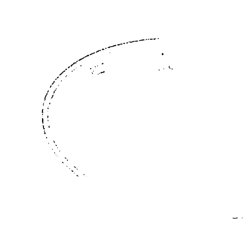
Winnacker/Wirtz

DAS UNVERSTANDENE WUNDER

Karl Winnacker
Karl Wirtz

DAS UNVERSTANDENE WUNDER

Kernenergie in Deutschland



Econ Verlag
Düsseldorf · Wien

1. Auflage 1975

Gesetzt aus der 10 Punkt Times der Linotype
Gesamtherstellung: Mohndruck, Gütersloh
Printed in Germany
ISBN 3430197929

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Die Verfasser haben sich kennengelernt, als in den fünfziger Jahren die Bundesrepublik Deutschland mit der friedlichen Nutzung der Kernenergie begann. Das Zusammenwirken von Wissenschaft und Wirtschaft, das für die Erschließung dieses weiträumigen Arbeitsgebietes Voraussetzung war, erforderte Lösungen, die nur durch offenes und vertrauensvolles Verständnis aller im innerdeutschen Bereich sowie im internationalen Ausland damit beschäftigten Menschen möglich wurden.

Als die Kernenergie in ihr erstes industrielles Stadium eintrat, beschlossen die Autoren, ihre Erfahrungen und Erlebnisse in einer umfassenden Darstellung niederzulegen. Das Buch soll allen denen helfen, die, auch wenn sie mit der Materie nicht vertraut sind, sich ein eigenes Urteil über ein Gebiet bilden wollen, das nicht leicht verständlich, aber von weitreichender wirtschaftlicher und politischer Bedeutung ist.

Die Verfasser stützten sich auf eigene Aufzeichnungen, auf Aktenunterlagen, die ihnen aus ihrer Mitwirkung bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie zugänglich waren, sowie auf die umfangreiche Literatur, die in dem beigefügten Literaturverzeichnis auszugsweise aufgeführt wird.

Sie waren bemüht, exakte wissenschaftliche Darstellung mit Allgemeinverständlichkeit zu verbinden. Sie sind sich bewußt, daß die vielschichtigen Aspekte der politischen, wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Problematik eine gelegentlich spezifische Darstellungsform bedingen.

Die Herren Ernst Bäumler, Autor anderer bekannter Sachbücher, und Dr. Klaus Trouet, langjähriger Mitarbeiter in Gremien des Deutschen Atomforums, haben bei dem Entstehen des Buches

mitgewirkt. Herrn Herbert Spahn danken die Verfasser für die sorgfältige Zusammenstellung des vielfältigen Materials. Der Verleger Erwin Barth von Wehrenalp hat an der Planung des Werkes richtungweisend und kritisch mitgearbeitet.

Karl Winnacker/Karl Wirtz

Historischer Ablauf

1938, Dezember	Otto Hahn und Fritz Strassmann entdecken die Kernspaltung
1939, 2. August	Albert Einstein schreibt an Präsident Roosevelt seinen Brief mit der Empfehlung zur Aufnahme von Arbeiten an der Atombombe
1942, 2. Dezember	Der erste Kernreaktor (CP 1) von Enrico Fermi wird in Chicago kritisch
1945, 16. Juli	Erste Versuchsexplosion einer Atombombe in Alamogordo, New Mexico
6. August	Abwurf der ersten Atombombe auf Hiroshima in Japan
9. August	Abwurf der zweiten Atombombe auf Nagasaki in Japan
1954, 8. November	Gründung der Physikalischen Studiengesellschaft Düsseldorf mbH
1955, 8.–20. August	Erste Konferenz zur friedlichen Nutzung der Kernenergie in Genf
16. Oktober	Ernennung von F. J. Strauß zum ersten Bundesminister für Atomfragen

1956, 26. Januar	Gründung der Deutschen Atomkommission
19. Juli	Gründung der Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft mbH, Karlsruhe
11. Dezember	Gründung der Gesellschaft zur Förderung der kernphysikalischen Forschung e. V. (GFKF) in Jülich. 1961 umbenannt in Kernforschungsanlage Jülich des Landes NRW e.V. (KFA)
1957, 25. März	Gründung von Euratom
6. Dezember	Erstes Deutsches Atomprogramm von 1958–1962 (Aufwendungen von Bund und Ländern einschl. des Vorlaufs ab 1956 DM 1452 Mio.)
1958, 1.–13. September	Zweite Konferenz zur friedlichen Nutzung der Kernenergie in Genf
1959, 26. Mai	Gründung des Deutschen Atomforums
1960, 1. Januar	Gesetz zur Ergänzung des Grundgesetzes vom 23. 12. 59 und Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) vom 23. 12. 59 in Kraft getreten.
1. September	Erste Strahlenschutzverordnung vom 30. 6. 60 in Kraft getreten
21. Dezember	Beginn der deutschen Arbeiten am Schnellbrüterprojekt in Karlsruhe

1961, 7. März	Der FR 2 in Karlsruhe kritisch
12. Juli	Erstes Deutsches Atomkraftwerk (Versuchsatomkraftwerk) Kahl kritisch
1963, 4. Mai	Zweites Deutsches Atomprogramm von 1963–1967 (Aufwendungen von Bund und Ländern DM 3801 Mio.)
1964, 31. August–9. September	Dritte Konferenz zur friedlichen Nutzung der Kernenergie in Genf
1966, 26. August	Kugelhaufenreaktor nach Schulten in Jülich kritisch
1967, 13. Dezember	Drittes Deutsches Atomprogramm von 1968–1972 (Aufwendungen von Bund und Ländern DM 6154 Mio.)
1969, 28. November	Die Bundesrepublik Deutschland unterschreibt den Atomsperrvertrag
1971, 6.–16. September	Vierte Konferenz zur friedlichen Nutzung der Kernenergie in Genf
1973, 5. Dezember	Viertes Deutsches Atomprogramm von 1973–1976 (Plansumme DM 6100 Mio.)
1974, 16. Juli	Kernkraftwerk Biblis I kritisch
25. August	Biblis I nimmt Leistungsbetrieb mit 1200 MW auf

Kapitel 1
Kernenergie in Krieg und Frieden

Die Entdeckung der Kernspaltung durch Otto Hahn und Fritz Strassmann im Dezember 1938 hat unsere Welt tiefgreifend verändert. Trotz vieler Veröffentlichungen und weltweiter Diskussionen über das Wesen dieser Entdeckung sind die naturwissenschaftlichen, technischen und wirtschaftlichen Zusammenhänge der großen Öffentlichkeit rätselhaft und unheimlich geblieben.

Mit fast allen bedeutenden Entdeckungen hat das Experiment von Hahn und Strassmann eines gemeinsam, nämlich daß es mit dem Neuen auch etwas Unerwartetes gebracht hat.

Die Überraschung aber, daß bei diesem Experiment das Gegenteil dessen herauskam, was die Wissenschaft vorausgesagt hatte – es wurde Uran gespalten, wo die Bildung größerer und schwererer Transurane vermutet worden war –, hat sich in der Geschichte der Naturwissenschaften oft ereignet.

Das Ungewöhnliche an der Entdeckung der Kernspaltung lag und liegt daran, daß das überraschende Ergebnis innerhalb weniger Tage und Wochen in der ganzen Welt eine einheitliche, jeder Kritik standhaltende Deutung erfuhr. In wenigen Monaten wurden daraus Vorschläge und Entscheidungen abgeleitet, die eine unerhörte politische Tragweite haben sollten. So etwas war in der Wissenschaft noch nicht dagewesen.

Zehn Tage nach der Veröffentlichung durch die Entdecker sandten Lise Meitner und Otto Robert Frisch zwei Mitteilungen an die englische Zeitschrift »Nature«, in denen sie eine theoretische Deutung des Experiments von Hahn und Strassmann lieferten. Das geschah am 16. Januar 1939.

Am 7. April 1939 schrieben die französischen Physiker Frédéric Joliot, Hans von Halban und Lew Kowarski eine Mitteilung an die

gleiche englische Zeitschrift. Der Titel der Arbeit lautete »Freisetzung von Neutronen bei der Kernexplosion des Urans«. Damit wurde die Möglichkeit einer Kern*ketten*reaktion aufgezeigt.

Einsteins dringender Rat

Am 2. August 1939 richtete Albert Einstein, der – aus Deutschland vertrieben – in den Vereinigten Staaten lebte, seinen historischen Brief an den amerikanischen Präsidenten. Einstein wies darin auf die Möglichkeit der Atombombe hin und riet mit Rücksicht auf einen möglichen deutschen Vorsprung dringend dazu, geeignete Vorbereitungen zum Bau von Kernwaffen in den USA zu treffen.

Das war tatsächlich ein dramatischer Ablauf, und er war möglich geworden, weil die wissenschaftliche Welt seit langer Zeit alle Voraussetzungen für eine solch rasche Entwicklung geschaffen hatte. Es fehlte nur noch ein einziges Experiment, das die neue Erkenntnis bestätigte und damit die Tore zu einer neuen Zeit aufstieß.

Derselbe Albert Einstein hatte 1905 – damals junger Physiker und Sachbearbeiter beim Patentamt in Bern – in der deutschen Zeitschrift »Annalen der Physik«, Band 17, Seite 53, zu seiner Relativitätstheorie ein kurzes Essay von 2$^1/_2$ Seiten nachgeliefert mit der Überschrift: »Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?« Einstein kommt in dieser Arbeit zu seiner Theorie, die – hier vereinfacht ausgedrückt – heute fast jedem geläufig ist:

$$E = m \cdot c^2$$

Das bedeutet in Worten: Der Energieinhalt (E) eines Körpers ist gleich seiner Masse (m) mal dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit (c = 300 000 km/sec). Einstein errechnete selbst, daß bei einer Verringerung der Masse um 1 g eine Energie von $9 \cdot 10^{20}$ erg frei wird. Er schreibt dazu:

»Die Masse eines Körpers ist ein Maß für seinen Energieinhalt. Ändert sich die Energie, so ändert sich die Masse im selben Sinne«. Und später:

»Es ist nicht ausgeschlossen, daß bei Körpern, deren Energieinhalt in hohem Maße veränderlich ist (z. B. bei den Radiumsalzen), eine Prüfung der Theorie gelingen wird. Wenn die Theorie den Tatsachen entspricht, so überträgt die Strahlung Trägheit zwischen dem emittierenden und dem absorbierenden Körper.«

Der Schlüssel zur Kernenergie

Das Experiment von Hahn und Strassmann stellte sich als eine der glänzendsten Bestätigungen der Einsteinschen Theorie heraus. Seit Einstein hatte man über den Aufbau der Atomkerne und ihren Energieinhalt viel nachgedacht. Deshalb wußte die Fachwelt sogleich, daß die Uranspaltung eine ungeheure Freisetzung von Energie zur Folge haben müsse und daß man auf diesem Wege den Schlüssel zur Gewinnung atomarer Energie gefunden hatte.

Die Energiemenge, die aufgrund der Gleichung von Einstein zu erwarten war, hatte für jene, die der Naturwissenschaft nicht sehr nahestanden, tatsächlich ein ans Wunderbare grenzendes Ausmaß. Bei der Kernspaltung von einem Gramm Uran 235 werden etwa $^{1}/_{1000}$ Gramm zerstrahlt und in Energie umgewandelt. In der Kerntechnik gilt die Faustregel, daß die Spaltung von einem Gramm Uran 235 eine Wärmemenge von etwa 1 Megawatt-Tag (MWd) freisetzt. Ein Kernreaktor von derzeit größtem Typ, wie er im Kernkraftwerk Biblis mit einer Leistung von 1250 Megawatt$_e$ arbeitet, zerstrahlt in einem Jahr bei einer Benutzungszeit von 7000 Stunden 1,09 Kilogramm Kernbrennstoff, setzt sie in 1,14 Millionen Megawatt-Tage Wärmeenergie um und erzeugt damit elektrische Energie von 8,75 Milliarden Kilowattstunden (kWh).

Mit Atomkraft über die Meere

In den ersten Wochen des Jahres 1975 wurde die 100. Fahrt der »Otto Hahn«, des deutschen 16900 BRT großen Atomfrachtschiffes, gemeldet. Es hat seit seiner Indienststellung im Oktober 1968 etwa 37 kg U 235 verbraucht, was einer Kohlenmenge von 260000 t entspricht. Das Schiff hat in dieser Zeit rund 380000

Seemeilen zurückgelegt. U-Boote, die durch Kernenergie angetrieben werden, fahren viele Wochen lang unter Wasser, ohne jemals aufzutauchen, und legen dabei Tausende Seemeilen zurück.

Bei Atombomben wird in anderen Einheiten gerechnet. Ihre Zerstörungskraft wird mit der Menge Trinitrotoluol (TNT) verglichen, welche die gleiche Sprengkraft besitzt. Nach dieser Rechnung entsprach die erste Atombombe von Hiroshima der Wirkung von 20 Kilotonnen TNT (= 20000 t).

Ihre Uranmenge betrug ungefähr 50 Kilogramm, wovon nur ca. 1 Kilogramm gespalten wurde, wobei wiederum nur etwa 1 Gramm Masse verschwand.

Die größte bekannte Wasserstoffbombe, welche die UdSSR im Jahre 1961 überirdisch zündete, entsprach einer Sprengwirkung von 60 Megatonnen TNT (= 60000000 t TNT).

Als die Physiker im Jahre 1939 derartige Möglichkeiten der Energiefreisetzung auf winzigstem Raum errechneten, befand sich die Welt in der Siedehitze einer sich anbahnenden kriegerischen Auseinandersetzung. So mochte die Versuchung naheliegen, die Atomenergie in die Kriegstechnik einzubeziehen.

Der Krieg als Vater auch dieser Dinge

Die Entwicklung der neuen Waffen in den USA vollzog sich in wenigen Jahren. Sie erforderte ungeheure Kraftanstrengungen, die außer den USA damals keine andere Macht der Erde hätte aufbringen können. Es mußten enorme Anlagen errichtet werden, in denen nach bisher unbekannten Methoden die Kernbrennstoffe U 235 und Plutonium gewonnen werden konnten. Riesiger Einsatz von Menschen und Material war erforderlich, um bis zum Sommer 1945, also erst nach dem Ende des zweiten Weltkrieges in Europa, die erste Atombombe fertigzustellen.

Im Zeichen des Krieges entzogen solche Maßnahmen sich jeglicher Kritik. Geld spielte keine Rolle. Die militärische Geheimhaltung schützte vor öffentlichen Diskussionen wie vor jeder Art von Störung des gewaltigen Vorhabens.

Erfahrungen im Hinblick auf die freiwerdende Strahlung und ihre Gefahren waren in den vorangegangenen Jahrzehnten so viel-

fältig gemacht worden, daß man die Menschen, welche die radioaktiven Materialien handhaben mußten, in ausreichendem Maße schützen konnte. Trotz der Gefahren, die das Projekt mit sich brachte, gab es wenige Unfälle im Verhältnis zu der großen Zahl von Personen, die daran mitwirkten.

Die fertige Bombe mußte schließlich nur noch exakt in das gewählte Ziel geworfen werden. Damit würde die Aufgabe erfüllt sein. Die Gewalt der Explosion konnte unter militärischen Gesichtspunkten nicht groß genug sein. Auch die beträchtlichen Mengen an Zerfallsprodukten und die lebensbedrohende Strahlung waren ja »erwünscht«. Wie bei allem Kriegsgeschehen überwog der Wille zur größtmöglichen Zerstörung und Vernichtung von Menschen und Material. Das galt auch für den zweiten Schritt, die Plutoniumbombe von Nagasaki, und erst recht für die spätere Erprobung der Wasserstoffbombe.

Der Kreisel ist in Gang gesetzt

Ebenso vollzog sich das gigantische Atomrüsten nach Ende des Zweiten Weltkrieges allein unter militärischen und politischen Gesichtspunkten und damit – bei den westlichen Atommächten genauso wie in der Sowjetunion – weiter unter Ausschluß der Öffentlichkeit. – Was später bekannt wurde, als im Zuge der friedlichen Nutzung gewisse Erfahrungen freigegeben wurden, war nur ein kleiner Teil dessen, was seinerzeit in Wirklichkeit erarbeitet worden ist. Der andere – noch heute geheimgehaltene – Teil bezog sich auf die Herstellung der Bombe und die Auslösung der Explosion in Bruchteilen von Sekunden.

Wenn die Wissenschaft die Freisetzung so unwahrscheinlich großer Energiemengen auf kleinem Raume friedlich nutzen wollte, waren die Probleme wesentlich schwieriger. Explosionen mußten dabei selbstverständlich ausgeschlossen werden. Es galt statt dessen, einen langsam und gleichmäßig ablaufenden Prozeß sicherzustellen, um eine Zerstörung der Anlagen und die Freisetzung strahlender Substanzen zu verhindern. Bei der Kernverschmelzung, die in der Wasserstoffbombe stattfindet, ist dies bis heute noch nicht gelungen.

Die meisten »humanen« Fragen, die uns heute bewegen, haben sich bei der Vorbereitung des militärischen Einsatzes naturgemäß nicht gestellt. Was nicht unbedingt zur Erreichung des Ziels notwendig war, z.B. die Handhabung und Beseitigung radioaktiver Rückstände beim Zerfall des Urans und bei der Gewinnung des Plutoniums, das alles hatten die Militärs und Politiker auf später verschoben.

Skepsis der Bevölkerung

Mit dieser Problematik müssen wir alle uns deshalb noch heute auseinandersetzen. Es bleibt ein permanenter Widerspruch zwischen der Sicherheit einerseits, mit der man über Kernwaffen verfügt und sie als Fundament der Weltpolitik betrachtet, und der Ungewißheit andererseits, aus der heraus immer wieder Argwohn genährt wird, wo Kernenergie als Grundlage unserer Volkswirtschaft in Betracht gezogen wird.

Genau da aber ist die Ursache dafür zu suchen, daß der »Mann auf der Straße« dieser schwierigen und widerspruchsvollen Materie so skeptisch gegenübersteht. In seinem Unterbewußtsein stellt sich stets erneut die Frage, ob das, was zunächst gewollt als Vernichtungswaffe eingesetzt wurde und weiterhin für diesen Zweck bereitgehalten wird, sich nicht auch dann gegen ihn richten könnte, wenn es zu friedlichem Nutzen verwendet werden soll.

Als die Deutschen 1955 in Genf zum erstenmal Zugang zu einer solchen friedlichen Nutzung der Kernenergie bekamen, hatten sie glücklicherweise noch den Vorteil, recht unbefangen zu sein.

In Deutschland hatte einmal die Wiege der Kernenergie gestanden. An ihrer militärischen und politischen Entwicklung allerdings war es nicht beteiligt. Niemand hierzulande dachte daran, Atomwaffen herzustellen. Man hatte diesen Verzicht vor der Weltöffentlichkeit bereitwillig dargetan.

Andererseits aber bestand der dringende Wunsch, sich künftig an der internationalen Entwicklung der friedlichen Nutzung der Kernenergie zu beteiligen. Und es war ein Aufbruch in eine neue Zeit, als deutsche Naturwissenschaftler wieder als wissenschaftliche und technische Wettbewerber auftraten.

Die Lage nach der Stunde Null

Es gab in diesem Deutschland des Wiederaufbaus keinerlei Entwurf, in welcher Form die neue Aufgabe gelöst werden sollte. Für viele sichtbar war allein die Notwendigkeit, in unserem rohstoff- und energiearmen Land diese neue Energiequelle zu erschließen. Man war überdies selbstsicher genug, dazu etwas beitragen zu können, auch wenn die Folgen des Krieges uns große Beschränkungen auferlegten. Außerdem gab es hierzulande ja noch keine staatliche Atombehörde, wie das in anderen Industrieländern längst der Fall war. Unsere Wissenschaftsorganisationen und die Universitäten waren noch im Stadium des ersten Behelfs, ebenso die deutsche Wirtschaft. Der soeben neu entstandene demokratische Staat hatte in seiner Verfassung keinen Platz gelassen für dirigistische Maßnahmen und zentrale Steuerungen.

Als Westdeutschland seine ersten Schritte zur Kernenergieentwicklung tat, war die Beurteilung im In- und Ausland naturgemäß nicht sehr günstig. Über alldem lag schließlich noch die Erinnerung an die soeben überstandene Katastrophe, dazu die zwiespältige Einstellung zur Atomenergie in der ganzen Welt.

Im August 1973 – nach 18 Jahren deutscher Kernenergieentwicklung und kurz bevor im Herbst des gleichen Jahres der Nahostkrieg die Ölkrise auslöste – stellte die Bundesregierung zum erstenmal ein langfristiges Energieprogramm auf. Die Krise kam dann mit dem »Oktoberkrieg« im Nahen Osten. Wieder also war es ein kriegerisches Ereignis, das die technische Entwicklung beeinflußte. Die arabischen Ölländer entsannen sich der Macht, die sie gegen die Industrieländer ausspielen konnten: Ölboykott, Ölverknappung und eine Vervielfachung des Preises erschütterten die Weltwirtschaft. Endlich wurden die Nationen sich der Tatsache bewußt, wie leichtsinnig sie mit dem Rohstoff Öl umgegangen waren und daß sie nun Grundsätzliches unternehmen mußten, um die kostbaren fossilen Energievorräte zu schonen. Es war die Zeit der großen Energieprogramme in aller Welt.

Es geht nicht mehr ohne Kernenergie

Es verstand sich geradezu von selbst, daß in diesen Programmen der Kernenergie ein maßgebender Platz zugewiesen wurde: 3 Prozent trägt sie derzeit zur Gesamtversorgung bei, in 10 Jahren sollen es 25 Prozent sein.

Bald darauf, zu Beginn des Jahres 1974, genehmigte die Bundesregierung das vierte Deutsche Atomprogramm. Es sieht für weitere vier Jahre einen staatlichen Zuschuß von ca. 6 Milliarden Mark vor. Das scheint sehr viel Geld zu sein; angesichts der schwierigen Lage der öffentlichen Haushalte hat man darüber auch lange diskutiert.

Im Verhältnis zu den Mehrkosten, die uns die Öllieferanten in einem einzigen Jahre aufzwingen, ist das jedoch nicht viel. Man schätzt die zusätzlichen Kosten für Öleinfuhren, mit denen die deutsche Zahlungsbilanz in Zukunft jährlich belastet wird, auf 15–20 Milliarden Mark. Die gleiche Summe ist seit 1955 von der Bundesregierung für die Entwicklung der Kernenergie aufgewendet worden.

Jetzt, 20 Jahre nach der ersten Genfer Atomkonferenz, verfügt die Bundesrepublik Deutschland über klare Vorstellungen, wie der Bedarf an Kernenergie mittel- und langfristig gedeckt werden kann. Wissenschaft und Wirtschaft stehen im Hinblick auf die Entwicklungen im offenen und scharfen Wettbewerb mit den Industrieländern der Welt.

Kernenergie – eine Forderung der Zeit

Die deutsche Industrie ist heute in der Lage, Kernenergie konkurrenzfähig zu erzeugen und sogar Kernkraftwerke für den Export anzubieten. Gleichwohl darf nicht vergessen werden, daß die Entwicklung der Kernenergiegewinnung überhaupt erst in den Anfängen steckt.

Neuerdings freilich wachsen die Widerstände gegen die Kernenergie, deren Zusammenhänge vielen naturgemäß schwer verständlich sind. Man wird dabei allerdings klar unterscheiden müssen, was an diesen Widerständen wirklich ernste Sorge – und was

daran nur politische Umtriebe sind, zumal beide meist gemeinsam auftreten. Indessen wird jeder lernen müssen, mit der Kernenergie zu leben.

Schließlich fordert der zunehmende Energiebedarf ganz entschieden, daß die traditionellen fossilen Energieträger, besonders die Kohle, mit der neu geschaffenen Kernenergie zu wirtschaftlicheren industriellen Arbeitsverfahren kombiniert werden.

1938 bis 1975: eine in der Tat weitgespannte Entwicklung liegt hinter uns. Der zurückgelegte Weg gibt jedoch keinerlei Anlaß zu nationaler Überheblichkeit. Was erreicht wurde, ist ein Beispiel zielstrebiger und weltoffener Wissenschaftspolitik, die in unserer jungen demokratischen Gesellschaftsordnung erst einmal hat gehen lernen müssen. Staat und Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft haben zueinandergefunden. Dies wird nicht nur für die Zukunft der Kernenergie von großem Nutzen sein. Vielmehr können die Methoden solcher Zusammenarbeit sich auch einmal für andere Ziele als beispielhaft erweisen.

Für die Kernenergie jedenfalls bleibt ausschlaggebend, sich die Kraft zu Entscheidungen zu bewahren, Fortschritte und Risiken richtig gegeneinander abzuwägen und die notwendigen Schritte jeweils in das internationale Geschehen einzuordnen.

Kapitel 2
Anfänge der Atomenergie

Am 6. August 1945 saßen zehn deutsche Atomwissenschaftler im britischen Sonderinternierungslager Farmhall in Godmanchester in einem großen Wohnraum und starrten gebannt auf einen kleinen schwarzen Radioapparat. »Here is the news«, begann der Sprecher der BBC Punkt sechs Uhr nachmittags. Und dann fuhr die sachliche Stimme fort: »President Truman has announced a tremendous achievement by Allied scientists. They have produced the atomic bomb. One has already been dropped on a Japanese army base. It alone contained as much explosive power as two-thousand of our great ten-tonners. The President has also forshadowed the enormous peacetime value of this harnessing of atomic energy.«

Bereits wenige Stunden zuvor hatte der diensthabende britische Offizier, Major T. H. Rittner, einigen der Internierten jeweils unter vier Augen den Abwurf der amerikanischen Atombombe mitgeteilt. Mit Hilfe versteckter Mikrophone lauschten britische Abwehroffiziere, wie die deutschen Wissenschaftler, darunter Otto Hahn, Werner Heisenberg und Max von Laue, auf diese Nachricht reagierten. Die meisten, vor allem die älteren unter ihnen, wollten die Nachricht zuerst nicht glauben. Sie konnten sich nicht vorstellen, daß den Amerikanern die Konstruktion einer solchen Bombe gelungen sei. Sie dachten, es handele sich um irgendeine konventionelle Bombe von besonders hoher Sprengkraft, die man lediglich als Atombombe bezeichnet hatte.

Die folgenden Stunden brachten die schockierende Gewißheit. In den 21-Uhr-Nachrichten wurden weitere Einzelheiten bekanntgegeben, es konnte kein Zweifel mehr bestehen: das Atomzeitalter hatte begonnen. Und zwar in einer Form, die sich keiner der zehn in Farmhall Internierten gewünscht hätte.

Karl Wirtz, bis vor kurzem noch Abteilungsleiter im Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik, schrieb in sein Tagebuch: »Ich persönlich halte es für ein Unglück, daß die Atombombe entwickelt worden ist. Ich vermute zwar, daß jetzt eine Zeitspanne des Friedens kommen wird, aber ich sehe keine dauerhafte Garantie für den Frieden; und welches Maß an Zerstörung ein neuer Krieg bringen würde, kann man sich nicht ausmalen.«

Am tiefsten betroffen war Otto Hahn. Als er sich in dieser Nacht zurückzog, hielten Max von Laue und Erich Bagge vor seinem Zimmer Nachtwache. Sie fürchteten, Otto Hahn könne sich etwas antun.

Hahn lag tatsächlich schlaflos und erregt in seinem Bett. Welche Folgen hatte die Entdeckung der Uranspaltung für die Menschheit heraufbeschworen! Hahn dachte an seine Lehrer, an seine Kollegen und Freunde, an die große, friedliche »Internationale« der Chemiker und Physiker, die wieder einmal ein Krieg in zwei »feindliche« Lager gespalten hatte. Wer von ihnen, mit denen man so oft in Laboratorien, bei Kongressen und geselligen Veranstaltungen zusammengetroffen war, mochte jetzt jenseits des Ozeans zum Bau jener Bombe beigetragen haben? Was war aus den Gefährten in der Kernphysik, aus Niels Bohr, aus Enrico Fermi, aus James Chadwick geworden?

Im Labor von Rutherford

Zwei der Allergrößten waren freilich schon lange tot. Bei Sir William Ramsay, dem berühmten Entdecker der Edelgase, hatte Hahn in den Jahren 1904/05 nach seinem Studium der Organischen Chemie in Marburg und München gearbeitet. Sein Ziel für den Aufenthalt in England war ursprünglich, Englisch zu lernen. Als Schüler von Theodor Zincke, einem Professor für Organische Chemie in Marburg, hatte er mit der Firma Kalle & Co. in Wiesbaden Verhandlungen geführt. Dabei hatte man ihm das Erlernen der englischen Sprache angeraten. So empfahl ihn sein Doktorvater an Ramsay.

Bei Ramsay und vor allem später bei Rutherford in Montreal aber war aus dem Chemiker endgültig der Radiochemiker Hahn

geworden. Nach Deutschland in das chemische Labor des Nobelpreisträgers Emil Fischer in Berlin zurückgekehrt, konnte sich Hahn weiterhin mit Radiochemie beschäftigen, dem so aufregenden Zweig der Chemie, der Ende des vergangenen Jahrhunderts entstanden war. Der Franzose Antoine Henri Becquerel, der Entdecker der natürlichen Radioaktivität, und das weltbekannte Ehepaar Curie waren die frühen Pioniere.

Mit Rutherford, dem fröhlichen, genialen Neuseeländer, der zuletzt in Manchester und Cambridge arbeitete, blieb Hahn stets in herzlicher Verehrung verbunden. Leider ging während des Krieges ein Teil des Briefwechsels mit Rutherford bei einem Bombenangriff im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie verloren.

Ernest Rutherford – er war 1937, ein Jahr vor der Entdeckung der Uranspaltung, gestorben – hatte sich gleich zu Beginn seiner ungewöhnlichen Laufbahn mit den Strahlen aus den radioaktiven Substanzen beschäftigt. Er ordnete sie in Alpha- und Beta-Strahlen. Die neben diesen Strahlen auftretenden Gammastrahlen wurden von Paul Villard entdeckt.

Als Rutherford mit positiv geladenen Alpha-Teilchen aus radioaktiven Substanzen Atome unter Beschuß nahm, führte dies zu völlig neuen Erkenntnissen: die Atome bestanden weitgehend aus leerem Raum, der folglich von den Strahlen ungehindert passiert werden konnte. Nur in ihrem Innern befand sich ein winziger Kern, der freilich fast die gesamte Masse des Atoms ausmachte. Da dieser Kern die positiven Alpha-Strahlen zurückstieß oder ablehnte, mußte er – gleichgerichtete Ladungen stoßen einander ab – ebenfalls positiv geladen sein.

Diese Entdeckung führte zu dem Nachweis der Protonen im Atomkern und schließlich zu der berühmten Vorstellung vom Atom, in dessen äußerster Hülle negativ geladene Elektronen kreisten. Die fast 23 Jahrhunderte alte Lehre des griechischen Philosophen Demokrit hatte ausgedient. Das Atom war keineswegs das letzte unteilbare Teilchen jeglicher Materie. Niels Bohr, Schüler von Rutherford, und Werner Heisenberg, Schüler von Bohr, Max Born und Arnold Sommerfeld, vollendeten schließlich mit der Quantenmechanik die Theorien vom Aufbau der Elektronenhülle des Atoms.

Ein neuer »Bewohner« des Atomkerns

Das letzte große Glied für das Verständnis des Atomkerns konnte 1932 der Engländer James Chadwick hinzufügen. Chadwick – er hatte bei Rutherford und Hans Geiger, dem Vater des »Geigerzählers«, in Deutschland studiert – bewies nämlich, daß sich, wie von anderen schon vermutet, im Atomkern außer den Protonen noch ein weiteres Teilchen befand. Da dieses Teilchen, etwa ebenso schwer wie ein Proton, keine elektrische Ladung besitzt, wurde es Neutron getauft. Heisenberg war es, der das heutige Bild vom Aufbau der Atomkerne zum erstenmal konzipierte. Danach ist der Kern aus Neutronen und Protonen aufgebaut, die durch ungeheure Bindungskräfte zusammengefaßt werden. Das neue an diesem Bild war, daß Elektronen im Kern nicht vorkommen.

Sobald die Kernphysiker die Neutronen »im Netz« hatten, wurde es auch möglich, die Existenz verschiedener »Sorten« eines Atoms, der sogenannten Isotopen, zu erklären. Die einzelnen Isotopen eines Atoms sind chemisch gleich. Sie besitzen die gleiche Zahl von Protonen und Elektronen. Sie unterscheiden sich jedoch in der Zahl der Neutronen. Beim Uran, dem mit 92 Protonen schwersten natürlichen Element des periodischen Systems, existieren zwei verschiedene Isotopen: Uran 235, das aus 92 Protonen und 143 Neutronen besteht, und Uran 238, dessen Kern ebenfalls 92 Protonen, aber 146 Neutronen enthält. Der Umstand, daß die chemischen Eigenschaften bei den jeweiligen Isotopen stets die gleichen sind, sollte später, als es um die Trennung von U 235 und U 238 ging, von großer Bedeutung sein.

Die künstliche Radioaktivität

Rutherford verwandte Alphateilchen zum Beschuß von Atomen. Auch das Ehepaar Joliot-Curie – Frédéric Joliot, ein französischer Physiker, hatte Irène, eine Tochter von Marie Curie, geheiratet – hatte mit Alphateilchen Atome beschossen und im Verlauf weiterer Untersuchungen herausgefunden, daß es nicht nur eine natürliche Radioaktivität gab, bei welcher der Kern schwerer Elemente zerfällt und Strahlen aussendet. Auch leichtere Elemente konnten

künstlich radioaktiv gemacht werden, wenn man ein geeignetes Isotop mit Strahlen behandelte.

Der italienische Physiker Enrico Fermi benutzte die neu entdeckten Neutronen, um mit ihnen eine Reihe von Elementen, darunter Uran, zu beschießen. Er wollte auf diese Weise ein »Transuran«, ein Element mit der nächsthöheren Ordnungszahl, also ein Element 93, herstellen. Fermi glaubte zunächst auch, dies sei ihm gelungen. Die Presse berichtete – gegen seinen Willen – in großer Aufmachung über die durch Neutronenbeschuß geschaffenen künstlichen Transurane.

Das war 1934. Otto Hahn arbeitete zu jener Zeit am Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin. Zahlreiche Veröffentlichungen über Strahlenchemie und Entdeckungen, wie zum Beispiel die eines Protactiniumisotops, des Uran Z, hatten seinen Namen in der wissenschaftlichen Welt bekanntgemacht. Seine engste Mitarbeiterin war – damals noch ungewöhnlich – eine Frau: Lise Meitner, Physikerin.

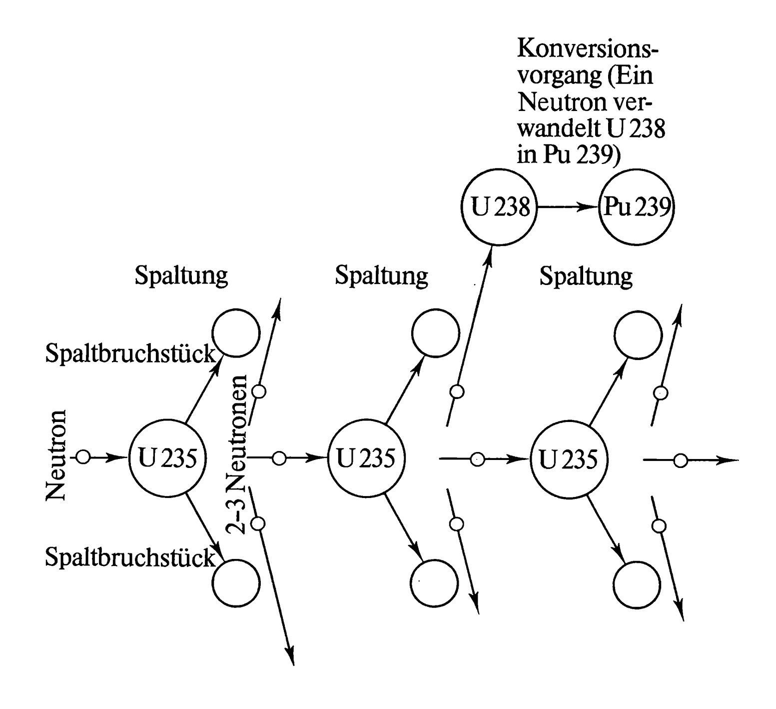
Hahn und Lise Meitner waren gerade von einer Reise durch die Sowjetunion zurückgekommen, als Fermis »Transurane« einige Aufregung hervorriefen. Einer der Mitarbeiter Hahns hatte ihn und Frau Meitner etwas scherzhaft gefragt, ob sie denn die neuen Transurane Fermis noch ruhig schlafen ließen.

Die »falschen Transurane« und die Kernspaltung

Hahn, Meitner und bald auch der Chemiker Fritz Strassmann machten sich an die Nachprüfung der Arbeiten Fermis. Zuerst voller Zweifel, dann überzeugt, daß Fermi recht hatte, veranstalteten die Berliner Forscher vier Jahre lang Bestrahlungsversuche. In deren Verlauf glaubten sie nicht nur wie Fermi das Element 93, sondern auch die Elemente 94, 95 und 96 hergestellt zu haben. Erst 1938 stand fest: Die »falschen Transurane« hatten nicht nur Fermi, der in diesem Jahr den Nobelpreis erhielt, sondern auch Otto Hahn genarrt. Doch im Gefolge der Nachprüfung der Resultate Fermis – auch das Paar Joliot-Curie hatte mit Neutronen gearbeitet – kam es zu der mittlerweile längst Geschichte gewordenen Kernspaltung des Urans mit Hilfe von Neutronen. Der

primitive Arbeitstisch, auf dem sich die Spaltung des Urankerns in kleinere Bariumkerne abspielte, steht heute im Deutschen Museum in München.

Die beiden Chemiker Hahn und Strassmann waren freilich viel zu vorsichtig, ohne weiteres die Spaltung des Urankerns für möglich zu halten – ein solches Ereignis stand im klaren Widerspruch zu allen bisherigen kernphysikalischen Erfahrungen. Hahn und Strassmann wiederholten ihre Versuche viele Male und berichteten ausführlich Lise Meitner, die sich nun in Schweden aufhielt. Als österreichische Jüdin hat sie Deutschland nach der Besetzung ihrer Heimat verlassen. Der Briefwechsel zwischen Hahn und Meitner Ende Dezember 1938 ist ausführlich in Hahns Lebenserinnerungen dargestellt.



Schema der Kernspaltung

Lise Meitner diskutierte den Hahnschen Bericht eingehend mit ihrem Neffen, dem Physiker Otto Robert Frisch. Meitner und Frisch erkannten: Hahn und Strassmann hatten tatsächlich den Atomkern des Urans, wie Hahn es formulierte, zum »Zerplatzen« gebracht. Dabei waren zwei kleinere Kerne, Barium mit der Kernladung 56 und Krypton mit der Kernladung 36, entstanden. Lise Meitner berichtete darüber sofort Niels Bohr, dem »großen alten Mann« der Kernphysik. Bohr war gerade im Aufbruch zu einem Kernphysikerkongreß in den USA. Dort angekommen, brachte er die erste Kunde von der Kernspaltung in die neue Welt.

Hahn und Strassmann publizierten ihre Entdeckung am 6. Januar 1939 in der Fachzeitschrift »Die Naturwissenschaften« unter der Rubrik »Kurze Originalmitteilungen«. Der Bericht trug die Überschrift »Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle«. Zehn Tage später, am 16. Januar, sandten Lise Meitner und Frisch – wie schon erwähnt – zwei kurze Notizen an die englische Zeitschrift »Nature«, in der die Entdeckung Hahns und Strassmanns kernphysikalisch gedeutet wurde. Frisch verwandte in diesem Zusammenhang zum erstenmal den Ausdruck »Spaltung« (»Fission«).

Das waren erregende Nachrichten für die Naturwissenschaftler in aller Welt. Bald sollten weitere folgen: die französischen Physiker Joliot, von Halban und Kowarski erkannten, daß bei der Spaltung des Atomkerns Neutronen frei werden.

Die Militärs treten auf den Plan

Natürlich blieb es nicht aus, daß bald Spekulationen über eine Super-Uranbombe in einigen Tageszeitungen erschienen. Und schneller und intensiver, als es sich die meisten Wissenschaftler wünschten, nahmen sich militärische Stellen in Deutschland, Großbritannien und in den USA dieser Frage an.

Aber auch die friedliche Nutzung in einer Art »Uranmaschine« wurde alsbald diskutiert. Siegfried Flügge, Physiker und Mitarbeiter von Hahn, berichtete darüber sehr anschaulich in der vielgelesenen »Deutschen Allgemeinen Zeitung«. Der Artikel erschien

am 15. August 1939 und trug den Titel: »Die Ausnutzung der Atomenergie«. Im einzelnen hieß es: »Als um die Jahreswende aufgrund der chemischen Ergebnisse von Prof. Hahn die Aufspaltung des Urankerns Gewißheit wurde, stellten wir uns sofort die Frage: Wenn nun bei der Spaltung durch ein auftreffendes Neutron einige Neutronen freigemacht werden, was geschieht dann weiterhin mit diesen Neutronen? Sie haben doch Gelegenheit, andere Urankerne zu spalten; dabei wird wieder jedes Neutron neue Neutronen erzeugen und so fort, solange noch Uran vorhanden ist, das zertrümmert werden kann. Es muß also eine rasch anschwellende Lawine von Neutronen das ganze verfügbare Uran zertrümmern. Es liegt genau das vor, was man in der Chemie eine Kettenreaktion nennt. Damit ist das erreicht, was bisher nie gelungen war: Mit einem einzigen Neutron, das »zündet«, wird eine wägbare, ja beliebig große Menge von Uran umgesetzt und dabei Kernenergie freigemacht.

Man kann ziemlich genau angeben, wieviel Energie man so gewinnen kann. In der Natur kommt Uran in der Verbindung Uranoxyd vor; sie ist das von Verunreinigungen befreite Erz Uranpechblende, wie es etwa in den Gruben von St. Joachimsthal im Sudetengau gewonnen wird. Ein Kubikmeter dieses Oxyds wiegt 4,2 t und enthält 9000 Billionen Billionen Uranatome. Bei der Spaltung eines Uranatoms werden etwa 3 billionstel Meterkilogramm Energie frei; bei der Umsetzung der ganzen Menge also 27000 Billionen Meterkilogramm. Da ein Kubikkilometer Wasser eine Billion Kilogramm wiegt, genügt diese Energie, um einen Kubikkilometer Wasser 27 Kilometer hochzuheben, d.h. also etwa den Wasserinhalt des Wannsees bis in die Stratosphäre emporzuschleudern.«

Nutzt Deutschland diese Möglichkeit?

Noch vor Kriegsausbruch hatten sich in Deutschland zwei Instanzen in die Entwicklung der Kernenergie eingeschaltet. Das Reichserziehungsministerium, dem die Universitäten und andere Forschungsinstitute unterstanden, und das Heereswaffenamt innerhalb des Oberkommandos des Heeres. Das Reichserziehungsmi-

nisterium war von Georg Joos, Physiker in Göttingen, auf die Uranspaltung und ihre möglichen Konsequenzen aufmerksam gemacht worden. Das Heereswaffenamt wurde schon am 24. April 1939 von dem Hamburger Physiker Paul Harteck und seinem Assistenten Wilhelm Groth darüber informiert, daß neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Kernphysik die Herstellung eines Sprengstoffes möglich machen würden, der um viele Größenordnungen stärker sei als alle konventionellen. Sie prophezeiten: »Das Land, das als erstes Gebrauch davon macht, besitzt gegenüber den anderen eine nicht mehr einzuholende Überlegenheit.«

Die Konsequenz war, daß bei Kriegsbeginn das Heereswaffenamt, genauer, seine physikalische Abteilung unter Kurt Diebner, das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin-Dahlem unter seine Fittiche nahm. Leiter des Instituts war der Holländer Petrus Debye, dem 1936 der Nobelpreis verliehen worden war. Debye fand an einer solchen Situation keinen Gefallen. Als er feststellen mußte, das sein Institut nicht von Kriegsarbeiten verschont würde, ging er in die USA.

Noch bevor er Informationen über die deutschen kerntechnischen Pläne nach den USA brachte, hatten emigrierte Wissenschaftler die Aufmerksamkeit offizieller Stellen auf die Vorgänge in Deutschland gelenkt. Einige aus Deutschland geflüchtete Physiker und Enrico Fermi gewannen Albert Einstein dafür, am 2. August 1939 jenen Brief an Präsident Roosevelt zu schreiben.

Der Inhalt dieses Schreibens war eine ernste Warnung. Er machte Roosevelt darauf aufmerksam, daß neue Bomben konstruiert werden könnten, von denen eine einzige ausreichen würde, ganze Städte zu vernichten. Einstein gab zu bedenken, daß Amerika keine nennenswerten Uranvorkommen aufzuweisen habe. Deutschland aber, das über die beträchtlichen Uran-Abbaugebiete in der Tschechoslowakei verfüge, habe inzwischen den Verkauf dieses Erzes eingestellt. Das könne nur so verstanden werden, daß dort Uran womöglich doch zur Gewinnung von Atomenergie eingesetzt werde.

Amerika wird zur Entscheidung gedrängt

Der Präsident ging auf diesen Brief zunächst insoweit ein, als er einen Beratenden Ausschuß für Uran berief. Weitere Konsequenzen wurden nicht gezogen.

Inzwischen waren – am 1. September 1939 – die Deutschen in Polen einmarschiert. Die Frage, wieweit Hitler die Möglichkeiten rund um das Uran in sein Kalkül mit einbezogen haben mochte, bekam damit in den USA einen höchst aktuellen Aspekt. Nachdem Einstein dann in einem zweiten Brief vom 7. März 1940 seine Warnung dringlicher gemacht hatte, reiften die Entscheidungen des Präsidenten rascher heran. Dennoch dauerte es bis Dezember 1942, bevor der erste Atomreaktor der Welt, der »Chicago Pile 1«, in Betrieb genommen werden konnte.

Der Überfall der Japaner auf Pearl Harbor im Dezember 1941 hatte die Entscheidungen weiter beschleunigt.

Auch in Großbritannien machten aus Deutschland geflüchtete Wissenschaftler, unter ihnen Meitners Neffe, Otto Robert Frisch, die Regierung auf die deutschen Arbeiten aufmerksam. Deutschland sei schon dabei, alle vorhandenen Uranvorräte unter seine Kontrolle zu bringen.

Sie überschätzten die deutsche Effizienz. Das sollten vor allem die nächsten Jahre zeigen.

Das Phantom der »Uranmaschine«

Immerhin: Noch im Sommer 1939 hatte Werner Heisenberg mit einer Ausarbeitung unter dem Titel: »Die Möglichkeit der technischen Energiegewinnung aus der Uranspaltung« den programmatischen Auftakt gegeben:

»Die von Hahn und Strassmann entdeckten Spaltungsprozesse an Uran können nach den bisher vorliegenden Daten auch zur Energieerzeugung im großen verwendet werden. Die sicherste Methode zur Herstellung einer hierzu geeigneten Maschine besteht in der Anreicherung des Isotops Uran 235. Je weiter die Anreicherung getrieben wird, desto kleiner kann die Maschine gebaut werden. Die Anreicherung von Uran 235 ist die einzige Methode,

mit der das Volumen der Maschine klein – etwa ein Kubikmeter – gehalten werden kann. Sie ist ferner die einzige Methode, um Explosivstoffe herzustellen, die die Explosivkraft der bisher stärksten Explosivstoffe um mehrere Zehnerpotenzen übertreffen. Zur Energieerzeugung kann man aber auch das normale Uran ohne Anreicherung von Uran 235 benutzen, wenn man Uran mit einer anderen Substanz verbindet, die die Neutronen von Uran verlangsamt, ohne sie zu absorbieren. Wasser eignet sich hierzu nicht, dagegen erfüllen nach den bisher vorliegenden Daten Schweres Wasser und ganz reine Kohle diesen Zweck.«

Heisenberg war damals trotz seiner erst 38 Jahre einer der führenden Köpfe unter den deutschen Kernphysikern. Schon 1932 hatte er mit 31 Jahren für seine Arbeiten den Nobelpreis erhalten. Natürlich wurde er auch die beherrschende Figur im »Uranverein«, wie die deutschen Atomphysiker die Gruppe nannten, innerhalb derer sie nun ihre Arbeiten betreiben sollten.

In einem zweiten Aufsatz, den Heisenberg im Februar 1940 zu Papier brachte, wurden Bau und Arbeit eines Kernreaktors abgehandelt. Die dabei konzipierte Theorie unterscheidet sich kaum von jenen, die auch heute für den Reaktorbau maßgebend sind.

Ausgangsmaterial: Uran aus Sankt Joachimsthal

Die praktischen Arbeiten zur Kernenergiegewinnung konzentrierten sich zunächst darauf, das notwendige Uran und geeignetes Material für die sogenannte Moderierung des Spaltprozesses zu gewinnen. Natururan zu beschaffen war ein lösbares Problem: Deutschland verfügte seit der Besetzung der Tschechoslowakei über die Uranlagerstätten in Sankt Joachimsthal. Sie wurden unter anderem zur Gewinnung von Radium, einem Produkt, das in der Medizin zur Bestrahlung verwendet wurde und im Uran enthalten ist, betrieben. Außerdem lagerten in Belgien große Vorräte von Uran, welches der Union Minière du Haut Katanga gehörte, die in Afrika Urangruben betrieb. Es handelte sich um insgesamt etwa 3500 t Uranoxid. Der Rohstoff war also vorhanden.

Für die Kriegsarbeiten wurde Uranmetall in Form von Platten, Stäben oder Würfeln verlangt. Es gelang der Firma Degussa,

Frankfurt, in relativ kurzer Zeit ein Verfahren zu entwickeln, das den Anforderungen an die Reinheit des Uranmetalls genügte. Die ersten Versuche wurden allerdings noch mit Uran in Form von Uranoxidpulver, dann in Form von Uranmetallpulver und erst später mit Uranmetall durchgeführt.

Ein anderes Problem bereitete fast nicht zu bewältigende Schwierigkeiten. Wie erwähnt, existieren von dem Element Uran zwei chemisch gleichartige Isotope: Uran 235 und Uran 238. Die Verteilung dieser Isotope im Element Uran ist höchst ungleich: das elementare Uran enthält zu 99,3% das Isotop 238 und nur zu 0,7% das Isotop 235. – Nur das so seltene Uran 235 erwies sich als für die Kettenreaktion brauchbar. Wird der Kern von Uran 235 von einem freien Neutron getroffen, so spaltet er sich in zwei leichtere Kerne. Dabei werden zwei bis drei weitere Neutronen und Energie frei. Diese freien Neutronen spalten weitere Kerne, aus denen wiederum Neutronen herausschießen. Die Kettenreaktion kommt in Gang. U 238 dagegen erwies sich als ein regelrechter »Neutronen-Fänger«. Trifft ein Neutron einen U 238-Kern, so wird es in den Kern eingebaut, der Kern wird nicht gespalten, das Neutron geht für die Kettenreaktion zunächst verloren.

Probleme der Isotopentrennung

Für die deutschen Forscher boten sich zwei Wege an, mit diesem Problem fertig zu werden: Entweder gelang es, auch mit natürlichem Uran eine Anordnung zu finden, die trotz der Neutronen-Verluste durch das Isotop 238 eine Kettenreaktion ermöglichte, oder ein Verfahren zu entwickeln, mit dem die beiden Isotope voneinander getrennt werden konnten. Als mögliche Trennmethoden wurden vorgeschlagen oder erprobt:

eine Ultrazentrifuge,
eine Isotopenschleuse,
die Konstruktion eines Trennrohres auf der Basis von Thermodiffusion,
die Diffusion in Festkörpern,
Photochemische Trennung und die Anwendung des Nernstschen Verteilungssatzes.

Von diesen Methoden führte während des Krieges in Deutschland nur das Ultrazentrifugen-Verfahren beim Uran zu gewissen Erfolgen. Die Brauchbarkeit der übrigen Verfahren wurde zum Teil durch Anreicherung von Isotopen anderer Elemente erwiesen. Der führende Kopf bei diesen Arbeiten war Paul Harteck in Hamburg, vor allem mit seinem Mitarbeiter Wilhelm Groth. Die Versuche führten während des Krieges nicht zu irgendeiner technisch verwertbaren Anreicherung der Uranisotopen. Trotzdem ist es bemerkenswert, daß schon damals im Vordergrund des Interesses die Ultrazentrifugenmethode stand, die auch heute in Europa für die großtechnische Isotopentrennung vorgesehen ist.

In den USA wurde während des Krieges die Isotopentrennung bewältigt. Mit einem ungeheuren Aufwand entstanden in Oak Ridge riesige Diffusionsanlagen, in denen solche Trennprozesse durchgeführt werden konnten.

Die Aufgabe der Moderatoren

Zu einer solchen industriellen Kraftanstrengung war Deutschland, vor allem je weiter der Krieg fortschritt, nicht in der Lage. Um so eifriger wurde der zweite Weg über das Natururan verfolgt. Dabei müssen die bei der Kernspaltung entstehenden schnellen Neutronen rasch gebremst werden, damit sie nicht von U 238 geschluckt werden.

Solche Stoffe, die man dem Reaktor beigeben kann, um die Geschwindigkeit der Neutronen abzubremsen, heißen Moderatoren. Moderatoren dürfen selbst keine oder nur wenige Neutronen einfangen. Sie müssen ein niedriges Atomgewicht haben, um durch wenige elastische »Bremsvorgänge« die Neutronen sehr schnell unter den gefährlichen »Resonanzbereich« von U 238 zu verlangsamen.

Deutsche wie alliierte Kernphysiker erkannten sehr schnell: Schweres Wasser, Graphit oder Beryllium kamen als Bremsmittel in Betracht. Schon Heisenberg hatte in seiner ersten Zusammenfassung Schweres Wasser oder Kohlenstoff (Graphit) als geeignete Bremsmittel für die Neutronen genannt. Beryllium ist we-

gen der hohen Toxizität seiner Verbindungen schwer herzustellen.

Schweres Wasser ist um etwa 11% schwerer als natürliches Wasser. Die Wasserstoffatome im gewöhnlichen Wasser sind beim Schweren Wasser durch Atome des »Schweren Wasserstoffs«, des Deuteriums (D), ersetzt. Schweres Wasser besitzt deshalb die Formel D_2O.

Der normale Wasserstoffkern besteht nur aus einem einzigen Proton, während alle übrigen Kerne anderer Elemente auch eine verschieden große Zahl von Neutronen besitzen, so der Kern des Schweren Wasserstoffs ein Proton und ein Neutron, Tritium ein Proton und zwei Neutronen. Verfolgt man diese Reihe etwas weiter, so kommt man beispielsweise zum Kohlenstoffatom, das aus 6 Protonen und 6 Neutronen, oder zum Eisenatom, das aus 26 Protonen und 30 Neutronen besteht.

Schweres Wasser aus Norwegen

Wie aber kam man zu diesem Schweren Wasser? Kleine Mengen waren in manchen Laboratorien vorhanden, so etwa bei Karl Friedrich Bonhoeffer, dem Ordinarius für physikalische Chemie in Leipzig. Bonhoeffer hatte – teilweise zusammen mit Harteck – bedeutende Arbeiten über die Modifikationen von normalem Wasserstoff geleistet. Für einen Uranmeiler oder Uranreaktor, so wie er Heisenberg und dem »Uranverein« vorschwebte, der mit gewöhnlichem Uran arbeiten sollte, brauchte man jedoch Tonnen von D_2O.

Bei Kriegsbeginn gab es nur eine einzige Stelle, die über solche Schätze verfügte: die norwegische Hydroelektrische Gesellschaft – Norsk Hydro –, deren Anlagen in Vemork bei Rjukan im Süden Norwegens standen. Der norwegischen Gesellschaft ging es keineswegs um die Erzeugung von Schwerem Wasser, sondern um die Herstellung von gewöhnlichem Wasserstoff. Dieser Wasserstoff wurde zur Ammoniaksynthese benötigt. Das Schwere Wasser aus den riesigen Elektrolysen der Norsk Hydro war mehr oder weniger ein Abfallprodukt, ein jetzt allerdings hochbegehrtes.

Karl Wirtz, ehemaliger Assistent bei Bonhoeffer in Leipzig, hatte schon vor dem Krieg ausgiebig mit aus Norwegen stammendem Schwerem Wasser gearbeitet. Er hatte sogar seine Habilitationsschrift darüber verfaßt. Deswegen erhielt Wirtz nach der Besetzung Norwegens durch die deutsche Wehrmacht den Auftrag, die Anlage der Norsk Hydro in Norwegen zu inspizieren und Kontakt mit den norwegischen Technikern aufzunehmen, die er von früher her brieflich kannte. Die Frage hieß: Wie konnte die Herstellung von Schwerem Wasser auf die Tonnen-Zahlen gebracht werden, die von den deutschen Kernforschern für den Betrieb eines Uranreaktors benötigt wurden? Die Norsk Hydro hatte in den Jahren vor dem Krieg nur jeweils einige Kilo erzeugt. Heisenberg aber hatte errechnet, daß für den Betrieb eines Reaktors etwa eine gleiche Menge von Schwerem Wasser wie von Uran benötigt wurde.

Ein Irrtum stellt sich in den Weg

Die Lösung dieses Problems wurde immer dringender, da offenbar allein Schweres Wasser das geeignete Moderationsmittel war. Graphit als Moderator schied scheinbar aus. Zu dieser Meinung hatten jedenfalls die Versuche von Walther Bothe und J. Hans D. Jensen in Heidelberg geführt. Messungen an vermeintlich reinem Graphit hatten eine zu große Neutronenabsorption ergeben. Erst später sollte sich dieser folgenschwere Irrtum aufklären: es hatte sich nicht um wirklich reinen Graphit gehandelt. Nach diesen fehlgedeuteten Versuchen wurde Graphit als Moderatorsubstanz verworfen. »Das ganze deutsche Projekt hing nun von dem langsamen Tröpfeln des Schweren Wassers ab, das von der Hochkonzentrierungsanlage Vemork bei Rjukan nach Deutschland gelangte«, schreibt David Irving in seinem Buch »Der Traum von der deutschen Atombombe«.

Jetzt teilte sich der Weg der deutschen und der amerikanischen Kernforschung. Während man sich in Deutschland nun endgültig auf das Schwere Wasser konzentrierte, arbeiteten die Amerikaner, an ihrer Spitze Enrico Fermi, mit größter Intensität an einem Graphitreaktor.

In Deutschland wußte man natürlich nichts von dieser Entwicklung in den USA. Die deutschen Bemühungen hingegen waren den alliierten Geheimdiensten nicht verborgen geblieben. Der Ausbau der Schwerwasseranlage in Norwegen ließ sich nicht völlig verbergen. Wie gut man zum Beispiel in London über das Geschehen in Vemork informiert war, sollte sich bald auf recht unheilvolle Weise zeigen.

Die deutschen Versuche

Immerhin wurden in Deutschland in den Jahren 1941/42 wesentliche Erkenntnisse auf dem Wege zu einem Atomreaktor gewonnen, die zunächst den amerikanischen noch keineswegs nachstanden. Die Basis dafür legten mehrere Großversuche, die freilich nicht zentral, sondern an verschiedenen Stellen und von verschiedenen Gruppen von Wissenschaftlern vorgenommen wurden.

Ein vorbereitender Versuch wurde von Harteck, Jensen und Suess im August 1940 in Hamburg durchgeführt. Dort wurde versucht, auf der Basis von Natururanoxid und Kohlesäureeis die Multiplikation von Neutronen nachzuweisen. Das dabei verwandte Material reichte freilich nicht aus, um zu einem positiven Ergebnis zu gelangen.

Das Scheitern dieses Versuches lag weniger in seiner theoretischen Anordnung als hauptsächlich in der ungenügenden Menge an Uranoxid.

Wesentlich genauere Ergebnisse für eine theoretische Auswertung lieferte ein Versuch im Mai 1941 unter der Leitung von Bothe in Heidelberg. Dabei wurden ein Gemisch von 4432 kg Uranoxid und 435 kg Wasser verwendet. Obwohl sich dabei interessante Beobachtungen über den Neutronenproduktionskoeffizienten ergaben, verlief auch dieser Versuch negativ: es konnte keine Neutronenvermehrung nachgewiesen werden.

Versuche in Leipzig unter Leitung von Heisenberg waren dagegen erfolgreicher; vor allem als nicht mehr Paraffin als Bremsmittel, sondern das erste aus Norwegen stammende Schwere Wasser verwendet wurde.

Paraffin, das auch bei den ersten Experimenten im »Virushaus«

– Tarnname für das Uranlabor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik in Dahlem – eingesetzt wurde, gestattete zusammen mit Natururanoxid keine Neutronenvermehrung.

Ein Brand stoppt die Versuche

Bei dem vierten Versuch in Leipzig im Frühjahr 1942 wurden zum erstenmal metallisches Uran mit insgesamt etwa 750 kg Uranmetallpulver und rund 220 Liter Schweres Wasser in zwei Schichten verwendet. Jetzt konnte ein positiver Neutronenproduktionskoeffizient registriert werden.

Die Leipziger Versuche verliefen unter schwierigen äußeren Bedingungen. Die experimentelle Einrichtung war in Leipzig, ebenso wie seinerzeit in den meisten deutschen Universitätsinstituten, recht kärglich und natürlich nicht auf die Dimensionen der modernen Kernforschung zugeschnitten. Schließlich ereignete sich auch noch ein Zwischenfall. In einer der Schichtenanordnungen mit metallischem Uranpulver kam es zu einer Selbstentzündung. Das Pulver verursachte einen Brand, der zunächst nicht gelöscht werden konnte. Das war das Ende der Großversuche in Leipzig.

Bei dem letzten Leipziger Versuch lagen die deutschen Kernphysiker trotzdem im Hinblick auf die Neutronenvermehrung noch vor ihren amerikanischen Kollegen.

Doch das Bild ändert sich bald. Der deutsche »Uranverein« erfährt von den staatlichen Stellen nur eine halbherzige Förderung. Die obersten Instanzen des Reiches stehen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen gleichgültig, wenn nicht gar ablehnend gegenüber. Der omnipotente Rüstungsminister, Albert Speer, macht hier kaum eine Ausnahme. Zudem fehlt es an einem überragenden Mann, der die deutschen kernphysikalischen Potenzen hätte zusammenfassen und dem Werk die große organisatorische Inspiration geben können. Kurt Diebner, der Beauftragte des Heereswaffenamtes, erweist sich bei allen anderen Qualifikationen dafür als nicht geeignet. Und schon bald treiben die alliierten Luftoffensiven die zersplitterte deutsche Forschung noch tiefer in ihre Bunker. Verwegene Sabotageakte und später auch Luftangriffe auf die Anlagen in Vemork hemmen die Schwerwasser-Produktion.

Der erste Reaktor stand in Chicago

Seit Dezember 1941, seit dem Angriff der Japaner auf Pearl Harbor, hat sich in den USA eine gigantische Rüstungsmaschinerie in Bewegung gesetzt. Die Atomforschung erhält dabei hohe Prioritäten. Für die Amerikaner steht nicht mehr allein Uran 235 als Kernbrennstoff oder als Explosionsstoff in einer Bombe im Vordergrund. Schon geht es auch um die Erzeugung von Plutonium, eines künstlichen Elementes, das 1940 von Edwin Mattison McMillan und Glenn Theodore Seaborg, ebenso wie das Neptunium, entdeckt worden ist. Beide erhalten für die Entdeckung dieser »echten« Transurane 1951 den Nobelpreis.

Bei der Herstellung von Plutonium wird Uran 238 verwendet. Um es in das Plutonium, das 94 Protonen und 145 Neutronen enthält, auf dem Wege über das Neptunium zu verwandeln, bedarf es eines Reaktors, in dem das Element mit Neutronen bestrahlt wird. In Deutschland war es Carl Friedrich von Weizsäcker, der schon im Juli 1940 erkannte, daß Uran 238 durch Einfangen von Neutronen in Plutonium – nach dem Planeten Pluto – verwandelt werden könnte. – Der erste Kernreaktor der Welt wird am 2. Dezember 1942 kritisch. Er arbeitet nur wenige Minuten und seine Leistung beträgt ein halbes Watt. »Der italienische Seefahrer ist in der Neuen Welt angelangt«, lautet die verschlüsselte Botschaft, die von dem Sportgelände der Chicagoer Universität, wo der Reaktor aufgebaut ist, nach Washington gegeben wird.

Der »italienische Seefahrer« war niemand anders als Enrico Fermi, der in Wirklichkeit schon am 2. Januar 1937 in der Neuen Welt angelangt war. Der von ihm entwickelte Reaktor »Chicago Pile Nr. 1 (CP1)« – neun Meter breit, neuneinhalb Meter lang und etwa sechs Meter hoch – arbeitete mit rund 52 Tonnen Uran und etwa 1350 Tonnen Graphit. Um eine unkontrollierbare Kettenreaktion zu verhindern, die den »Meiler« zerstört und die Umgebung radioaktiv verseucht hätte, wurden zwischen die ziegelsteingroßen Kohlenstoffblöcke des Reaktors noch Kadmiumstäbe eingefahren. Dieses seltene Metall wirkt als »Gegenspieler« des Urans. Es verhindert Uran-Spaltungen, indem es wirksame Neutronen einfängt.

Die führende Atommacht der Erde

Der Probereaktor in Chicago im Jahre 1942, der Bau der Isotopentrennanlage in Oak Ridge, die reines Uran 235 lieferte, die Hanford-Laboratorien mit den großen Reaktoren zur Gewinnung von Plutonium und die 1943 aus dem Boden gestampfte Atomstadt Los Alamos, in der unter der Regie von J. Robert Oppenheimer weltbekannte Kernwissenschaftler wie Niels Bohr, James Chadwick, Enrico Fermi und der aus Deutschland emigrierte Hans Albrecht Bethe arbeiteten, sie markieren den Weg der USA zur ersten Atombombe, zur lange Zeit führenden Atommacht der Erde. Mehr als 120000 Menschen arbeiteten zeitweilig an diesen Projekten, über 2 Milliarden Dollar wurden dafür ausgegeben.

Welch ein Kontrast zu den Anstrengungen in Deutschland! Hier waren im gesamten Uranverein, alle Institute zusammengenommen, nie mehr als einige hundert Menschen am Werk. Die Aufwendungen betrugen nur einen winzigen Teil im Vergleich zu den USA, schätzungsweise 100–200 Millionen RM. Damit konnte keine Isotopentrennanlage entwickelt und gebaut oder reines Plutonium gewonnen werden. »Ich möchte behaupten«, so schrieb Karl Wirtz in einem seiner Tagebücher, »daß selbst die Überredungsgabe der angesehensten deutschen Physiker es nicht zustande gebracht hätte, einen so großen Teil der der deutschen Industrie zur Verfügung stehenden Energie- und Arbeitskraft zu entziehen, um während des Krieges auch nur annähernd eine Anlage zu errichten, wie die in Oak Ridge. Und selbst diese Anlage war erst dann in der Lage, das Material für eine einzige Bombe zu liefern, als der Krieg mit Deutschland längst mit konventionellen Mitteln beendet war. Allen, die sich je mit Diffusionsprozessen beschäftigt hatten, war dies während des Krieges vollständig klar. Ein Zwiespalt trat deshalb in bezug auf die Isotopentrennung niemals in den Herzen der Wissenschaftler auf. Mit großer Offenheit konnte über die Möglichkeit der Atombombe auf der Basis von Reinuran 235 diskutiert werden. Das Ziel war während des Krieges definitiv unerreichbar.«

Erreichbar gewesen wären hingegen der Bau und Betrieb eines Reaktors. Doch weder dem Reichsforschungsrat, der seit 1942 für

die Kernforschung verantwortlich zeichnete, noch dem »Uranverein« selbst konnte eine solche Zusammenfassung aller Kräfte und des vorhandenen Materials gelingen.

Endstation im Felsenkeller

Das Finale der deutschen Kernforschung während des Krieges spielte in einem Felsenkeller des Städtchens Haigerloch in Württemberg. Da Berlin und die anderen deutschen Großstädte unter dem Bombenhagel der »Fliegenden Festungen« mehr und mehr in Trümmer zu versinken begannen, war ein Teil des Personals des »Virushauses« und anderer Institute nach Württemberg gebracht worden. Auch Otto Hahn, der sich an der Arbeit des Uranvereins nur wenig beteiligt hatte, fand hier in Tailfingen in einer Textilfabrik mit seinem Institut Unterschlupf.

Noch im Februar 1945 war in Berlin-Dahlem, im neuen Bunkerlaboratorium, ein letzter Großversuch vorbereitet worden. Als die Front näher rückte und die Russen auf Berlin zustürmten, wurden die wichtigsten Materialien dieses Versuchs, Schweres Wasser, Uran und die notwendigsten Meßinstrumente, in aller Eile nach Haigerloch gebracht. Dort im Felsenkeller vollzog sich das letzte große Experiment der deutschen Kernphysiker. Es blieb unterkritisch, aber es wurde eine Neutronenvermehrung um den Faktor 7 erreicht. Auch bei den vorhergehenden Versuchen in Berlin hatten sich positive Neutronenvermehrungen ergeben.

»Die Methodik dieser Versuche war relativ einfach«, berichtet Karl Wirtz, der am Haigerloch-Experiment mitwirkte, »eine künstliche Neutronenquelle wurde in das Zentrum der jeweiligen Anordnung gebracht. In der Umgebung dieser Quelle wurde die Neutronenzahl bestimmt, und zwar zunächst ohne Uran und dann mit Uran. Aus einfachen Umrechnungen ergab sich die multiplizierende Wirkung des Urans. Sie hing von der Geometrie der Anordnung und ihrer Größen ab. Wir werden später noch sehen, daß, wären die gesamten Vorräte an Uranmetall und Schwerem Wasser in Deutschland zu einem einzigen größeren Experiment vereinigt worden, es möglich gewesen wäre, eine kritische multiplizierende Anordnung aufzubauen, mit einer sich selbst erhaltenden Kettenreaktion.«

Deutschland kam nicht mehr zum Zuge

»Es war nicht nur die Zersplitterung der Interessen und der Wettbewerb der einzelnen Gruppen untereinander, welche das Zusammenführen der größeren Mengen von Uran und Schwerem Wasser verhinderte.

Wegen des fortgeschrittenen Krieges war es zum Schluß sehr schwierig, die für größere Versuche notwendigen Einrichtungen zu beschaffen, z. B. große Aluminiumkessel, Transporteinrichtungen für Schweres Wasser und Uran usw. Die Konkurrenz der Gruppen und eine mangelnde Führung allerdings bewirkten, daß von Anfang an die Großversuche an verschiedenen Orten und nicht an einer einzigen Stelle durchgeführt werden konnten.«

An dieser Zersplitterung hatte sich bis zuletzt nichts geändert. Neben der Arbeitsgruppe unter Heisenberg in Haigerloch und Hechingen operierte Kurt Diebner, der ursprünglich in Gottow gearbeitet hatte, an einem Uranmeiler in Stadtilm in Thüringen. Im Keller eines alten Schulgebäudes war eine Grube ausgehoben worden. Darin wurde ein Meiler mit Schwerem Wasser und von Graphit umgeben installiert. Er enthielt zehn Tonnen Uranoxidbriketts, die von der Degussa hergestellt waren. Diese Menge hätte ausgereicht, um die Hechinger Reaktoranordnung kritisch zu machen. Zwischen den beiden Arbeitsgruppen gab es jedoch kaum mehr Verbindungen. Überdies überfluteten die alliierten Truppen das Land.

Ein Bombenteppich deckt alles zu

Zwischen den Kriegsgegnern Deutschlands herrschten – selbst jetzt im Zeichen ihres Sieges – recht unterschiedliche Auffassungen darüber, wer die Ergebnisse der deutschen Atomforschung auswerten sollte. So dachten z. B. Engländer und Amerikaner gar nicht daran, etwa den Sowjets deutsche Uranvorräte oder Schweres Wasser in die Hände fallen zu lassen. Nichts bewies das deutlicher als das Schicksal des Werkes Oranienburg bei Berlin, das von der Auergesellschaft zur Herstellung von Uran betrieben wurde. Als abzusehen war, daß dieses Werk in kurzer Zeit von den sowje-

tischen Truppen besetzt werden würde, legten 600 Fliegende Festungen der amerikanischen Luftwaffe am 15. März 1945 einen Bombenteppich auf das Werk. Die Zerstörung war vollkommen.

Auch die Franzosen sollten nach dem Willen der Briten und Amerikaner keinen Einblick in die deutsche Atomforschung erhalten. Deswegen erschien am 23. April, schon einen Tag nachdem die französischen Streitkräfte in Hechingen eingezogen waren, eine amerikanische Spezialtruppe vor dem Laboratorium in Haigerloch. Es waren Mitglieder der sogenannten »Alsos-Mission«, die überall in den eroberten Gebieten nach deutschen Atomwissenschaftlern fahndete. Unter ihnen waren alliierte Wissenschaftler. Einer der bekanntesten: Samuel Goudsmit, der in Deutschland studiert und mit vielen deutschen Kernphysikern freundschaftliche Beziehungen unterhalten hatte.

Um den Franzosen nicht einmal Spuren der deutschen Atomarbeiten in Haigerloch zu hinterlassen, wurde die Felsenhöhle von amerikanischen Pionieren gesprengt.

Uranwürfel im Kartoffelacker

Wo aber waren das deutsche Uran und das Schwere Wasser geblieben? Erst nach längeren Vernehmungen gaben Carl Friedrich von Weizsäcker und Karl Wirtz den Amerikanern das Versteck bekannt: in einem Kartoffelacker waren Hunderte von Uranwürfeln vergraben, das Schwere Wasser in Benzinfässer einer alten Mühle gepumpt worden. Weizsäcker und Wirtz handelten dafür von den Amerikanern die Zusage ein, daß die Laboratorien in Hechingen und Tailfingen unzerstört blieben und die nicht kriegswichtigen Arbeiten dort fortgesetzt werden könnten.

Erst nach der Besetzung Hechingens und Tailfingens waren die Amerikaner und Briten endgültig davon überzeugt, daß die Deutschen tatsächlich keine Atombomben hatten. In den erbeuteten Geheimberichten und den Verhören der Wissenschaftler zeigte sich vielmehr, wie weit die Deutschen von diesem Ziel noch entfernt waren.

Für die meisten der deutschen Kernphysiker hatte sich die Frage, ob Bau einer solchen Bombe oder nicht, in der Praxis noch

gar nicht gestellt. Die politische und militärische Führung des Reiches, vor allem Hitler selbst, besaßen nur begrenzte Vorstellungen von der kernphysikalischen Entwicklung, die mit Hahns Uranspaltung 1938 in der ganzen Welt eingesetzt hatte. Schon allein die Tatsache, daß ein großer Teil dieser Leistungen von jüdischen Wissenschaftlern erbracht worden war, genügte den Machthabern, die Kernphysik suspekt zu machen. Auch hatten sie kein Gefühl für die unübersehbaren Konsequenzen dieser neuen Entwicklung. So blieb den Wissenschaftlern im Reich der harte Druck einer etwa von Hitler selbst eingesetzten Instanz erspart, die vermutlich mit allen Mitteln ein Ergebnis der Anstrengungen erzwungen hätte. Der Fortgang der Arbeiten hatte den Charakter von Forschungsarbeiten der Wissenschaftler. Zu ihnen gehörte auch Walther Gerlach, der 1944 von Göring zum »Bevollmächtigten des Reichsmarschalls für kernphysikalische Forschung« ernannt worden war.

Es gab kein deutsches »Atomgeheimnis«

Die Frage, ob nicht zumindest in den ersten Kriegsjahren die deutsche Industrie imstande gewesen wäre, in einer großen gemeinsamen Kraftprobe zum Beispiel eine Isotopen-Trennanlage für die Herstellung von Uran 235 zu errichten, mag deshalb offen bleiben.

Es ist eigentlich erstaunlich, wie gering die Erfolge der sonst so wirksamen Geheimdienste auf beiden Seiten waren. Weder die Amerikaner noch erst recht die Deutschen waren über den Stand der Entwicklung auf der anderen Seite informiert.

Immerhin haben Amerikaner und Briten – vor Hiroshima – die deutschen Kernphysiker für Geheimnisträger erster Ordnung gehalten: Otto Hahn, Max von Laue, Werner Heisenberg und seine Gruppe sowie Kurt Diebner wurden im April 1945 verhaftet und in England in strenger Abgeschiedenheit interniert. Dort erfuhren sie dann am 6. August 1945 – ebenso überrascht wie skeptisch –, daß den Amerikanern der Bau einer Atombombe gelungen war. Eine Fliegende Festung hatte sie an diesem Tage über Japan abgeworfen.

Die Aufregung über dieses Ereignis, die tiefe Gemütsbewegung, die es besonders bei Otto Hahn ausgelöst hatte, waren drei Monate später noch nicht vorbei. Da platzte am 16. November eine andere Nachricht in die Frühstücksrunde der internierten Wissenschaftler. Heisenberg, der gerade im »Daily Telegraph« las, wandte sich an Otto Hahn: »Hier in der Zeitung steht etwas, das Sie unbedingt lesen sollten. Es betrifft Sie persönlich . . .«

Nur unwillig nahm Hahn die Zeitung zur Hand. Sie enthielt die Nachricht, daß der deutsche Chemiker Otto Hahn den Nobelpreis bekommen hatte . . .

Kapitel 3
Der Weg nach Genf

Im Januar 1946 erhielt die Stadt Göttingen denkwürdigen Zuzug. Einige Herren meldeten sich bei den Ausgabestellen für Lebensmittelkarten. Sie hatten solche bisher nicht gebraucht, denn erst kurz zuvor hatte sie eine britische Militärmaschine von London nach Bückeburg gebracht. Es waren die von April 1945 bis Januar 1946 in Farmhall interniert gewesenen deutschen Atomwissenschaftler Otto Hahn, Werner Heisenberg, Max von Laue und die jüngeren Mitarbeiter der Heisenberg-Gruppe, darunter Carl Friedrich von Weizsäcker und Karl Wirtz.

Das Leben in Göttingen trägt die gleichen tristen Züge wie in allen anderen deutschen Städten jener Zeit. Die Menschen frieren und hungern, der Schwarzmarkt blüht.

Im Gegensatz zu den meisten Großstädten war Göttingen allerdings von schweren Zerstörungen verschont geblieben. Wie fast überall in der britischen Besatzungszone war die Verwaltung bald wieder in Gang gekommen; auch das in Göttingen immer schon rege kulturelle Leben hatte sich entfalten können. Dafür sorgte vor allem die »Georgia Augusta«, die traditionsreiche Universität der Stadt. Ihre Hörsäle waren voller Studenten, deren Kleidung zumeist aus Uniformrelikten ihrer vergangenen Soldatenzeit bestand.

Sosehr sich Göttingen verändert haben mochte, für die Heimkehrer aus England war es vertrauter Boden. Einige von ihnen kannten die Stadt aus ihrer Studienzeit oder von wissenschaftlichen Zusammenkünften aus den zwanziger Jahren. Damals war Göttingen eines der Weltzentren für Naturwissenschaften gewesen, besonders für Mathematik und Physik.

Männer wie der Mathematiker David Hilbert, die Physiker Max

Born und James Franck hatten hier gelehrt. Ein paar der Studenten jener Jahre waren mittlerweile weltberühmt: so die Nobelpreisträger Werner Heisenberg, der Engländer Paul Dirac, der Österreicher Wolfgang Pauli und der Italiener Enrico Fermi, der 1942 in Chicago mit dem »CP1« den ersten Atommeiler der Welt geschaffen hatte. Und schließlich muß J. Robert Oppenheimer erwähnt werden, Chef des amerikanischen Atomzentrums Los Alamos, in dem von 1943 bis 1945 die erste Atombombe hergestellt wurde. Oppenheimer war 1927 in Göttingen promoviert worden.

Max Planck und Otto Hahn

Wiederum in Göttingen fällt 1946 eine wichtige Entscheidung: die »Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften« wird in »Max-Planck-Gesellschaft« umgewandelt. Der Nestor der deutschen Physik selbst stellt sich, da man ihn an die Spitze dieser Gesellschaft beruft, dafür mit all seiner Autorität zur Verfügung, mit der er jahrzehntelang das Schicksal der deutschen Physik mitbestimmt hat.

Max Planck war es, der mit der Schöpfung seiner »Quantentheorie«, die er 1901 veröffentlichte, die Wende von der »klassischen« zur »modernen« Physik eingeleitet hatte. In den ersten Jahren von den Größen seines Fachs wenig anerkannt, von einigen sogar abgelehnt, wird sein Name später gerade wegen der Entwicklung der »Quantentheorie« gleich neben dem von Albert Einstein genannt.

Jetzt sucht Planck als Präsident »seiner« Gesellschaft in Göttingen den deutschen Naturwissenschaften von neuem auf den Weg zu helfen. Ernst Telschow steht ihm dabei als Generalsekretär zur Seite. Nun jedoch, da Otto Hahn ebenfalls in Göttingen ist, will Planck die Leitung der Gesellschaft in dessen Hände legen.

Hahn ist damals freilich schon 67 Jahre alt. Er zögert deshalb. Überdies hat er mittlerweile vielerlei »unsinnige Meinungen über die deutsche Atomforschung und mich« gehört, auch das mag zu seiner Abneigung gegen dieses hohe Amt beigetragen haben. Schließlich aber besuchte er mit Freunden den Nestor der deut-

schen Physik. Die Gäste brachten Brot, Corned beef, Butter und Tee mit. Planck öffnete eine Flasche besten Weines, die man ihm bei der Verleihung des Goethe-Preises in Frankfurt verehrt hatte. In diesem gemütlichen Augenblick bat er Otto Hahn noch einmal, die Leitung der »Gesellschaft« zu übernehmen. Hahn sagte nun ja.

Die Umbenennung der »Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft« war übrigens darauf zurückzuführen, daß die Engländer forderten, »Kaiser Wilhelm« im Titel dieser Gesellschaft »abzusetzen«; sie waren auf den Berliner Enkel Ihrer Majestät der Königin Victoria ja noch nie besonders gut zu sprechen gewesen.

Hahn und seine Mitarbeiter haben nun die schwierige Aufgabe, die neue Max-Planck-Gesellschaft aufzubauen. Als eines der ersten entsteht dabei das physikalische Institut unter Leitung von Werner Heisenberg. Sein erster Vorläufer war schon 1917 gegründet und von der privaten Wirtschaft finanziert worden. Der Anfangs-Etat lag bei 35000 Mark. Im Zuge einer Neugründung dieses Institutes 1935/36 war ein eigenes Gebäude in Berlin-Dahlem geplant. Dieser Bau konnte aus Mitteln der Rockefeller-Stiftung realisiert und 1936 fertiggestellt werden.

Albert Einstein, der dieses neue Institut hatte leiten sollen, wurde 1933 in Belgien von Hitlers Machtübernahme überrascht. Er blieb zunächst dort und ging später in die USA, wo er eine Professur am Institute for Advanced Studies in Princeton erhielt.

Als »Statthalter« Einsteins hatte zunächst Max von Laue als Leiter dieses Instituts in Berlin fungiert; er war einige Jahre Assistent von Max Planck gewesen und erhielt 1914 den Nobelpreis für seine Arbeiten zur Röntgenbeugung an Kristallen.

Als Chef des 1936 eingeweihten Instituts folgte dann der Holländer Petrus Debye, der gerade den Nobelpreis bekommen hatte.

Von Berlin nach Göttingen

Wenige Jahre nach dem Zusammenbruch war es also Göttingen, von wo aus die Arbeit vor allem dieses Instituts neu in Gang gebracht werden mußte. Die Lage ist hier jetzt ganz und gar anders.

Arbeiten, die auf Atomenergie im Hinblick auf ihre Entwicklung als Waffe gerichtet sind, werden selbstverständlich nicht in Betracht gezogen. Die Alliierten haben ohnehin jede Art von Betätigung auf diesem Gebiet verboten. Die erste Aufgabenstellung für die Göttinger Physiker ist bescheiden. Zunächst bemühen sie sich u. a. um den Abschluß einiger theoretischer Arbeiten und um die Vorbereitung der Atomenergiegewinnung für friedliche Zwecke. Selbst das aber ist in dieser Zeit so kurz nach dem Krieg nicht einfach. Es fehlt nicht nur an Literatur, sondern auch an den einfachsten Hilfsmitteln.

Im Sommer 1950 hält Heisenberg an der Göttinger Universität seine erste Vorlesung über die Theorie der Atomkerne. Im Wintersemester schließt sich eine weitere an über die Theorie der Neutronen. Im Winter 1952/53 folgt Wirtz mit seiner ersten Vorlesung: »Einführung in die praktische Neutronenphysik«.

In der Zwischenzeit hat man im »Max-Planck-Institut« – selbstverständlich ohne Kernbrennstoffe – die ersten experimentellen Arbeiten zur Neutronenphysik wiederaufgenommen. Die verwendeten Neutronen werden aus einfachen radioaktiven Quellen, meist Radium-Beryllium, gewonnen. Sie dienen der Messung von Wirkungsquerschnitten und anderen physikalischen Größen. Vor allem sollen jüngere Wissenschaftler in dieses Gebiet eingeführt werden.

Auf Adenauers Wunsch

Bonn scheint in jenen Jahren sehr weit von Göttingen entfernt. Die jungen Wissenschaftler versuchen den Abstand zu überbrücken, der durch die deutsche Isolierung entstanden war. Die älteren stehen noch unter dem Schock, daß ihre Wissenschaft kriegerischer Zerstörung von bisher unbekannten Ausmaßen gedient hatte. Viele werden dieses Trauma nie überwinden.

Bei den Verhandlungen über die Europäische Verteidigungsgemeinschaft in den Jahren 1952 bis 1954 hatte Konrad Adenauer für die Bundesregierung den Wunsch vorgebracht, einen Forschungsreaktor von 500 Kilowatt Wärmeleistung bauen zu dürfen. Hierzu hatte das Max-Planck-Institut in Göttingen die Anregung

gegeben. Es war vorgeschlagen worden, ein solcher Reaktor solle ein Core, also einen Reaktorkern, aus Natururan und Graphit haben, da zu diesem Zeitpunkt an die Beschaffung von Schwerem Wasser nicht gedacht werden konnte.

Bekanntlich zerschlugen sich die Pläne der Europäischen Verteidigungsgemeinschaft dadurch, daß das französische Parlament sie ablehnte.

Mit dem 5. Mai 1955 – dem Tag, an dem die Bundesrepublik Deutschland infolge Abschluß der Pariser Verträge ihre volle Souveränität erhielt – war sie auch auf dem Gebiet der Atomenergieentwicklung zehn Jahre nach Kriegsende frei.

In Göttingen gab es mittlerweile schon sehr viel genauere Vorstellungen davon, wie ein eigener Forschungsreaktor gebaut werden sollte. Man hatte überdies ja aus dem Krieg – aus jenen Jahren, da man sich um den Bau von Reaktoren bemühte – Erfahrungen. Auf ihnen basierten nun zunächst auch die Göttinger Erwägungen. Inzwischen war ermittelt worden, daß auch in Deutschland Graphit hergestellt werden konnte, der in seiner Reinheit den kerntechnischen Anforderungen entsprechen würde. Wenn aber kein Schweres Wasser in ausreichender Menge zu haben war, wäre ein Natururan-Reaktor mit Graphitmoderation und Luft- oder Wasserkühlung eine Alternative zum Schwerwasser-Reaktor.

Aus neuen Berichten über Forschungsarbeiten in den USA, in Kanada und auch in England waren sich die Wissenschaftler nun weitgehend darüber klar, wie solch ein Reaktor im einzelnen auszusehen hätte.

Schon 1953 hatte in Oslo eine erste Konferenz über Schwerwasser-Reaktoren stattgefunden, zu der auch Repräsentanten der Max-Planck-Institute in Göttingen und Heidelberg eingeladen waren, darunter Karl Wirtz und J. Hans D. Jensen. Erstmals in Europa war unter anderen der Leiter des Oak Ridge National Laboratory, Alvin M. Weinberg, der im Kriege damit befaßt worden war, die Berichte über die Fortschritte der deutschen Arbeiten zu überprüfen. Er war deswegen über die deutschen Vertreter besser informiert als diese über ihn. Von dieser Zeit an sind die engen Verbindungen zwischen den deutschen Gruppen, vor allem

dem Kernforschungszentrum Karlsruhe, und den amerikanischen National-Laboratorien Oak Ridge, Argonne und Los Alamos nicht mehr abgerissen.

Vom CP 1 bis Nagasaki

Naturgemäß waren die USA in der Reaktortechnik besonders weit, wenngleich dort lange Zeit militärische Aspekte im Vordergrund gestanden hatten. Schon unmittelbar nachdem der Fermi-Reaktor (der CP 1) im Dezember 1942 in Chicago »kritisch« geworden und ein selbständiger Spaltprozeß in Gang gekommen war, hatte dieser CP 1 einen Nachfolger erhalten: den CP 2, der ebenfalls mit Natururan und Graphit als Moderator arbeitete.

Seit 1943 stand im Argonne-Laboratorium in der Nähe von Chicago der »CP 3«, ein Reaktor, der nicht Graphit, sondern – wie bei den deutschen Versuchen während des Krieges – Schweres Wasser verwendete. Da Schweres Wasser eine stärkere »Neutronen-Bremse« als Graphit darstellt, konnte dieser »Pile«, wie man damals einen Reaktor auch nannte, wesentlich kleiner als seine Vorgänger gehalten werden.

Auch in Oak Ridge im Staate Tennessee, wo die großen Anlagen für die Trennung von Uran 235 und 238 entstanden sind, baute man während des Krieges einen Probereaktor mit einer Leistung von 1000 Kilowatt. Das war fünfundzwanzigtausendmal soviel wie die 40 Watt, mit denen der CP 1 in Chicago gearbeitet hatte. Allerdings diente dieser Reaktor vorläufig nur der Herstellung des Plutoniums, das im Reaktor aus U 238 gewonnen werden kann und ebenso wie Uran 235 als Spaltmaterial dient.

»Atomöfen« liefern Plutonium

Nachdem dieser Vorläufer seine Brauchbarkeit bewiesen hat, werden weitere »Atomöfen« in Hanford im Staate Washington gebaut, die wahrscheinlich schon die beträchtliche Leistung von etwa 1000 Megawatt hatten. Sie erzeugen täglich etwa ein Kilo Plutonium. Die zweite Atombombe, die nach Hiroshima im Au-

gust 1945 über Nagasaki abgeworfen wurde, enthielt als Sprengstoff dieses Plutonium.

Auch nach Ende des Krieges gegen Japan bleibt in den USA der Bau von Leistungsreaktoren zur friedlichen Verwendung der Kernenergie noch im Hintergrund, wiewohl die sogenannte McMahon-Act dazu bereits die gesetzlichen Voraussetzungen schafft. Verantwortlich für alle Kernenergieprojekte der Vereinigten Staaten ist nun die AEC, die Atomenergiekommission unter dem Vorsitz von David Lilienthal.

Schon 1946 aber legen die USA den Vereinten Nationen einen Vorschlag über eine internationale Kontrolle der Atomenergie vor. Das fünfköpfige Beratungskomitee, das diesen Plan für Präsident Truman ausgearbeitet hatte, erklärte dazu: »Nur wenn die gefährlichen Aspekte der Atomenergie der nationalen Zuständigkeit entzogen und der internationalen Zuständigkeit übergeben werden, besteht vernünftige Aussicht darauf, Sicherheit gegen die Verwendung der Atomenergie für Bomben zu haben; und nur wenn diese internationale Einrichtung sich mit der Entwicklung und dem Einsatz der Atomenergie befaßt, kann sie ihre Funktion als Hüter in der Zukunft der Welt ausreichend erfüllen.«

Dieser Plan fand bei der Sowjetunion kaum Resonanz. Die meisten Amerikaner begriffen nicht, warum man sich dort nicht auf die atomare Zusammenarbeit stützte, die der Plan anbot. Die USA glaubten großzügig zu sein, als sie sich erboten, mit der ganzen Welt Atominformationen zu teilen, die sie selbst bisher für geheim und wertvoll hielten. Der Witz war, daß die UdSSR diese Geheimnisse schon kannte. Rußland brauchte den Plan nicht; Rußland hatte Klaus Fuchs.

Stalin war nicht überrascht

Erst nach der Verhaftung und dem Geständnis des deutschen Meisterspions, der einmal vor Hitler nach England geflüchtet war und später im »Allerheiligsten« der amerikanischen Atombombenproduktion in Los Alamos gearbeitet hatte, war klar, warum die Russen so reagiert hatten. Jetzt verstand auch Präsident Truman, warum Josef Stalin nur höflich lächelte und kaum Interesse zeigte,

als ihm der amerikanische Präsident während der Konferenz von Potsdam über die erste erfolgreiche amerikanische Atombombenerprobung in der Wüste von Neu-Mexiko berichtete. Stalin war über Fuchs und den russischen Geheimdienst ausgezeichnet informiert worden und hatte längst Befehl gegeben, eine sowjetische Atombombenproduktion in Gang zu setzen.

Truman selbst – bis zum Tod Roosevelts Vizepräsident – hat übrigens erst nach seiner Vereidigung zum Präsidenten am 12. April 1945 von den Atom-Arbeiten in seinem eigenen Land erfahren, obgleich dabei immerhin mehr als 100000 seiner Landsleute beschäftigt waren.

Wie kurzlebig unter solchen Umständen das amerikanische Atombomben-Monopol sein mußte, wurde Ende August 1949 schmerzlich klar: eines der »fliegenden Laboratorien«, die von der US-Air-Force in B-29-Maschinen zu Aufklärungszwecken installiert waren, hatte seine Runde über Rußland gezogen. Die regelmäßig gemachten Luftproben zeigten auffällig starke radioaktive Strahlung. Diese Messungen verrieten, daß irgendwo im weiten sowjetischen Land eine Atomexplosion stattgefunden haben mußte.

Dies war für die USA eine böse Überraschung. Die Amerikaner hatten sich nicht vorgestellt, daß die Russen in den nächsten zehn Jahren Atombomben haben würden. Nun waren sie offenbar diesem Termin doch zuvorgekommen. Man hatte sich endgültig damit abzufinden, daß die Sowjets im Begriff waren, zur zweiten Atommacht der Erde zu werden.

Und diese Atommacht zeigte keineswegs sehr friedliche Züge. Das hatten die kommunistischen Machtergreifungen in den osteuropäischen Staaten, die Blockade Berlins und – für die Amerikaner am unmittelbarsten – der Krieg in Korea bewiesen.

Die »Super« wird aktuell

All diese Ereignisse schienen einem Physiker in den Vereinigten Staaten recht zu geben, der sich schon geraume Zeit zuvor für den Bau einer noch größeren Bombe, nämlich der Wasserstoffbombe, der »Super«, wie sie damals genannt wurde, eingesetzt hatte. Auch

dabei handelte es sich um einen ehemaligen Flüchtling aus Europa: Edward Teller, 1908 in Ungarn geboren, mit 17 Jahren nach Deutschland gekommen. Er hatte in München, wo ihm bei einem Straßenbahnunfall ein Fuß abgefahren worden war, und Karlsruhe studiert. Promoviert worden war er in Leipzig.

Später in Göttingen und Kopenhagen, wo auch er einst zum Kreis der jungen Männer um Niels Bohr gehörte, hatte er Freundschaft mit seinem deutschen Physikerkollegen Carl Friedrich von Weizsäcker geschlossen. Über England war er nach den USA gekommen und schließlich in Los Alamos in die Abteilung für theoretische Physik eingetreten. Dort arbeitete er mit zwei Wissenschaftlern zusammen, die auch Ungarn waren, Eugene Paul Wigner und Leo Szilard. Wigner hatte in Berlin studiert und später in Göttingen als Physiker gearbeitet. Szilard hatte sein Studium ebenfalls in Berlin absolviert. Auch diese beiden hatten aus politischen und rassischen Gründen nach 1933 Deutschland verlassen. Ebenso wie Teller waren sie auf dem Umweg über England in die USA gekommen.

Besonders Szilard hatten dann die Nachrichten von der in Berlin geglückten Atomspaltung tief beunruhigt. Diese Reaktion verstärkte sich, als Szilard die Möglichkeiten einer Kettenreaktion bei der Spaltung erkannte.

Teller – zunächst noch »Statist«

Mit Unterstützung Enrico Fermis begann Szilard die amerikanische Regierung auf die Gefahren hinzuweisen, die die »Uran-Bombe« in der Hand Hitlers für den Westen heraufbeschwören könnte. Szilard und seine Freunde waren es, die Albert Einstein zu dem Brief an Präsident Roosevelt bewogen. Tellers Rolle war dabei, wie er einmal dem deutschen Fernsehen erzählte, mehr die eines Statisten. Da Szilard nicht Auto fahren konnte, chauffierte ihn Teller nach Long Island, wo Einstein 1939 den Sommer verbrachte.

Als Chef von Teller wirkte in der Abteilung in Los Alamos der deutsche Physiker Hans Albrecht Bethe, Schüler von Arnold Sommerfeld in München, später bei Rutherford in Cambridge und En-

rico Fermi in Rom, Dozent in Frankfurt, Stuttgart, München und Tübingen. Auch er war nach der Machtergreifung Hitlers nach England und später in die USA gegangen.

Bethe zählte zu den besten Kennern der thermonuklearen Prozesse, also der Verschmelzung von Wasserstoffkernen unter höchsten Temperaturen – auf diese Weise gewinnt die Sonne ihre Energie. Noch in den Kriegszeiten hatten er und seine Mitarbeiter in Los Alamos sich mit dieser Frage beschäftigt. Sie waren damals schon darin einig, daß es möglich sein müßte, neben der Spaltung auch eine auf der Kernverschmelzung beruhende Explosion zu erzeugen. Die aktuellen Arbeiten an der Atombombe, auf der Kernspaltung basierend, besaßen zunächst freilich Vorrang.

Die H-Bombe, wenig geschätzt

In den ersten Nachkriegsjahren und nach dem atomaren »Sündenfall« begann der große Exodus der Wissenschaftler aus Los Alamos. Viele von ihnen wollten mit Waffenentwicklungen nichts mehr zu tun haben. Deshalb fand Edward Teller mit seinen Plänen für den Bau einer Wasserstoffbombe – »entweder wir bauen die Bombe oder die Russen werfen uns eine auf den Kopf«, sagte er – nur wenig Unterstützung.

Dagegen war vor allem J. Robert Oppenheimer. Dieser erlebte einige Jahre später ein bitteres Nachspiel. Man grub seine Vergangenheit aus: ehedem in der Tat linksorientiert mit vielen kommunistischen Freunden, sind nach seinen eigenen Aussagen die Zeiten seiner kommunistischen Sympathien längst vorüber. Trotzdem kommt der Verdacht auf, er sei möglicherweise sogar Sowjetagent gewesen. So wird er im Dezember 1953 aus seinen Ämtern entfernt. Er muß sich vor einem Untersuchungsausschuß verantworten. Wenn dabei auch der Vorwurf des Landesverrats zurückgenommen wird, so bleibt doch der andere Vorwurf, sich mit seiner Haltung gegen die Konstruktion der Wasserstoffbombe gestellt zu haben.

Vom Sommer 1954 an ist der einst so einflußreiche Chef von Los Alamos wieder ein »einfacher« Professor an der Universität Princeton. Im Jahre 1963 wird ihm gleichwohl der Enrico-Fermi-

Preis zuerkannt. Der vorherige Preisträger hatte ihn dafür vorgeschlagen. Es war Edward Teller.

Dieser Preis, der unter Naturwissenschaftlern als hohe Auszeichnung gilt, wurde später, nämlich im Jahre 1966, auch Otto Hahn, Fritz Strassmann und Lise Meitner verliehen.

Eine Insel versinkt im Meer

Vier Tage nachdem Klaus Fuchs seinen Atomverrat eingestanden hatte – im Januar 1950 –, ordnete Präsident Truman den Bau der Wasserstoffbombe an. Teller verzichtete auf seine Berufung an die Universität von Kalifornien und stürzte sich in die Arbeit. Nicht zuletzt ging es ihm auch darum, zu sehen, ob seine Ideen über den Fusionsprozeß richtig oder falsch waren. Im Laufe der nächsten Jahre fehlte es nicht an Meinungsverschiedenheiten unter den beteiligten Wissenschaftlern, an Mißverständnissen und Krisen.

Doch am 1. November 1952 war es soweit: auf der kleinen Insel Elugaleb im Eniwetok-Atoll ereignet sich die erste vollständige Explosion einer Wasserstoffbombe. Sie besaß eine Sprengkraft von fünf Millionen Tonnen TNT (Trinitrotoluol) – das reichte aus, um die 400 m lange und 800 m breite Insel in den Pazifik zu versenken.

Aber auch auf dem Gebiet der thermonuklearen Waffen konnten die USA ihre Vorrangstellung nicht lange halten. Schon neun Monate darauf, am 12. August 1953, wird die erste Wasserstoffbomben-Explosion in der Sowjetunion festgestellt. Manche Zeichen deuten darauf hin, daß diese russische Wasserstoffbombe für »fortgeschrittener« als die amerikanische vom November vorher gehalten werden muß. Der Rüstungswettlauf geht weiter . . .

Doch jetzt unternimmt der neue amerikanische Präsident, Dwight D. Eisenhower, einen großartigen Versuch, die schreckliche Vorstellung zu bannen, »daß zwei Atomkolosse dazu verdammt sind, sich wie Urtiere über eine zitternde Welt hinweg Auge in Auge bis in alle Ewigkeit gegenüberzustehen«. In einer Rede vor der Vollversammlung der Vereinten Nationen am 8. Dezember 1953 beschwört er die Welt, die Atomkraft statt für Vernichtungswaffen für die friedliche Nutzung in größtem Umfang

zu erschließen. »Die Vereinigten Staaten sind davon überzeugt, daß die friedliche Nutzung der Atomenergie kein Traum der Zukunft ist. Die bereits erprobten wissenschaftlichen Voraussetzungen dazu sind vorhanden, hier, jetzt, heute. Wer kann daran zweifeln, daß dieses geistige Potential nicht schnell in eine weltweite nutzbringende und wirtschaftliche Anwendung verwandelt würde, wenn die Gesamtheit aller Naturwissenschaftler und Ingenieure auf der Erde genügend spaltbares Material in den Händen hätte, um Versuche durchzuführen und um ihre Ideen zu entwickeln. Um diesen Tag beschleunigt herbeizuführen, an dem die Furcht vor dem Atom aus den Gedanken der Völker und der Regierungen in Ost und West zu weichen beginnt, sind bestimmte Schritte notwendig, die jetzt getan werden können.«

»Ohne Erbitterung und Mißtrauen«

Dann macht der amerikanische Präsident folgende Vorschläge: »Die grundsätzlich hiervon betroffenen Regierungen – unter Beachtung einer Grenze, die die elementare Vorsicht gebietet – beginnen jetzt und fahren fort mit der Leistung gemeinsamer Beiträge von normalem Uran und spaltbaren Materialien aus ihren Vorräten an eine Internationale Atomenergie-Agentur. Wir würden erwarten, daß eine solche Agentur unter dem Schutz der Vereinten Nationen geschaffen wird. Größenordnung der Beitragsleistungen, Verfahrensweg und andere Details wären innerhalb des Rahmens der Geheimgespräche noch zu vereinbaren, auf die ich mich an anderer Stelle bezogen habe. Die Vereinigten Staaten sind gewillt, diese Forschungsbeiträge in gutem Glauben durchzuführen. Jeder Partner der Vereinigten Staaten, der in dem gleichen guten Glauben handelt, wird die Vereinigten Staaten als vernünftigen und großzügigen Bundesgenossen an seiner Seite finden. Ohne Zweifel werden die Gründungsbeiträge und ersten Lieferungen für diesen Plan der Menge nach klein sein. Der Vorschlag hat jedoch den großen Vorzug, daß er ohne Erbitterung und gegenseitiges Mißtrauen in Kraft treten kann, die jeden Versuch begleiten, ein vollständig annehmbares System weltweiter Inspektion und Kontrolle zu schaffen. Der Atomenergie-Agentur könnte

die Verantwortung für die Vergabe, Lagerung und den Schutz der zugewiesenen spaltbaren und anderen Materialien übertragen werden. Die Erfindungskraft unserer Wissenschaftler würde hierzu mit außerordentlichen Sicherheitsbedingungen beitragen, unter denen eine solche Bank für spaltbares Material gegen einen Überraschungszugriff im wesentlichen geschützt werden kann. Die weit wichtigere Verantwortung dieser Atomenergie-Agentur obläge ihr im Auffinden von Verfahren, wonach dieses spaltbare Material zugeteilt würde, um den friedlichen Zwecken der Menschheit am besten zu nutzen. Experten müssen mobilisiert werden, um die Atomenergie den Bedürfnissen der Landwirtschaft, der Medizin und anderen friedlichen Aufgaben anzupassen. Eine besondere Aufgabe wäre es, die Gebiete, die nach Energie hungern, mit genügend großen Mengen elektrischer Energie zu versorgen. Die Mächte, die hierzu einen Beitrag leisten, würden damit einen Teil ihrer Stärke benutzen, um den Bedürfnissen der Menschheit zu dienen und nicht deren Angst zu vergrößern.«

Eisenhowers große Konzeption

»Die Vereinigten Staaten wären mehr als willens, sie wären stolz, gemeinsam mit anderen, die hiervon grundsätzlich betroffen sind, die Entwicklung von Plänen aufzugreifen, wodurch eine solche friedliche Nutzung der Atomenergie gefördert würde. Zu denjenigen, die grundsätzlich hiervon betroffen sind, muß naturgemäß die Sowjetunion gehören. Ich wäre bereit, in der festen Erwartung seiner Zustimmung, dem Kongreß der Vereinigten Staaten jeden derartigen Plan zur Entscheidung vorzulegen, der zum Inhalt hat:

Erstens: die weltweiten friedlichen Vorhaben zur Erforschung der nützlichsten Anwendung von spaltbarem Material zu ermutigen mit der Zusicherung, daß den Wissenschaftlern das gesamte Material zur Durchführung dieser Versuche zur Verfügung steht, die diesem Rahmen angemessen sind.

Zweitens: mit dem Abbau des Vernichtungspotentials der atomaren Vorräte in der Welt zu beginnen.

Drittens: allen Völkern aller Nationen in diesem aufgeklärten Zeitalter deutlich zu machen, daß die großen Mächte dieser Erde, ob im Osten oder Westen, eher an den menschlichen Sehnsüchten Interesse nehmen als an dem Aufbau eines Waffenarsenals für den Krieg.

Viertens: friedlichen Diskussionen einen neuen Weg zu eröffnen und zumindest den Versuch einer neuen Annäherung an die schwierigen Probleme zu finden, die sowohl in Geheimgesprächen als auch in der Weltöffentlichkeit gelöst werden müssen, wenn die Welt den ihr auferlegten Fluch abschütteln und positive Schritte zum Frieden machen soll.«

Aus der Furcht zum Frieden?

»Vor dem bedrohlichen Hintergrund der Atombombe wollen die Vereinigten Staaten nicht nur ihre Stärke zeigen, sondern auch ihren Wunsch und ihre Hoffnung für den Frieden. Die vor uns liegenden Monate sind ausgefüllt mit vertrauensvollen Entscheidungen in dieser Versammlung, in den Hauptstädten, in den Hauptquartieren der Streitkräfte in aller Welt, überall in den Herzen der Menschen, gleichviel ob sie Regierte oder Regierende sind. Mögen das die Entscheidungen sein, die diese Welt aus der Furcht zum Frieden führen. Um zu diesen vertrauensvollen Entscheidungen zu kommen, bekräftigen die Vereinigten Staaten vor Ihnen und daher vor der ganzen Welt ihre Entschlossenheit, an einer Lösung dieses schrecklichen atomaren Dilemmas mitzuwirken und ihre gesamte Kraft dafür einzusetzen, einen Weg zu finden, auf dem der wundervolle menschliche Erfindungsgeist seine schöpferischen Kräfte nicht für das Töten, sondern für das Leben einsetzt.«

Schon einige Zeit vorher hatte sich in den USA die Ansicht durchgesetzt, daß die Privatindustrie auf breiter Basis in die Entwicklung der Kernenergie eingeschaltet werden sollte. Das war

nicht möglich, solange ein dichter Schleier der Geheimhaltung über allen Projekten lag. Aus diesem Grunde wurde am 30. August 1953 das McMahon-Gesetz, das für alle Angelegenheiten der Atomenergie ausschlaggebend war, in entscheidenden Teilen abgeändert.

Die Privatindustrie wird eingeschaltet

Nun waren zweiseitige Abkommen mit anderen Nationen möglich. Sie konnten auch spaltbares Material bekommen, um ihnen den Aufbau von eigenen Forschungs- und Leistungsreaktoren zu erleichtern. Überdies stellte die Regierung der Privatindustrie Brennstoff zur Verfügung und gestattete, die gewonnene Energie zu verkaufen. Bisher geheime Unterlagen wurden ihr zur Einsicht gegeben.

Im Herbst 1954 folgten weitere Schritte: die USA kündigten an, daß Wissenschaftler anderer Länder auf einer Schule für Reaktortechnik ausgebildet und technische Veröffentlichungen ausländischen Wissenschaftlern übergeben werden sollten. Überdies stellten die USA rund 100 Kilogramm reines Uran 235 für Reaktorarbeiten im Ausland zur Verfügung.

In den USA selbst hatten am 6. September 1954 die Bauarbeiten für das erste auf wirtschaftlicher Basis arbeitende Atomkraftwerk in Shippingport bei Pittsburgh begonnen. Der Druckwasser-Leistungsreaktor nahm am 2. Dezember 1957 zunächst mit 60000 Kilowatt den Betrieb auf.

Eisenhowers Maßnahmen hatten die Welt davon überzeugt, daß es den USA mit ihren Vorschlägen für eine friedliche internationale Verwendung der Kernenergie ernst war. Die Vollversammlung der UN billigte im Dezember 1954 den Vorschlag der Vereinigten Staaten, eine internationale Konferenz über die Verwendung der Kernenergie abzuhalten. 73 Nationen wollten sich daran beteiligen, sie sandten mehr als tausend Berichte über ihre Arbeiten und Pläne auf atomarem Gebiet an die UN. Nach anfänglichem Zögern erklärten sich auch die Sowjets bereit, an der geplanten Konferenz in Genf mitzuwirken. Weit mehr: Sie übergaben der UN eine ausführliche Darstellung über ihr erstes atomares Kraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 5000 Kilowatt.

Ein englischer Herrensitz wird Atomkraftwerk

Aber auch die britische »Mannschaft« hatte inzwischen mit recht imponierenden Ergebnissen aufzuwarten. Das war freilich nicht allzu verwunderlich. Die Zusammenarbeit England-USA während der Kriegsjahre und die Beteiligung englischer Atomwissenschaftler in Los Alamos hatten für die Briten bedeutende Entwicklungschancen gebracht. Anschließend hatte man auf der Insel bald eigene Kräfte ins große »Atomspiel« investiert. Schon am 3. Oktober 1952 hatten die Briten bei den Montebello-Inseln vor Australien ihre erste Atombombe gezündet.

Im Jahr 1953 wurde auf dem Gelände eines Herrensitzes aus dem 17. Jahrhundert der Bau des Atomkraftwerkes Calder Hall begonnen, das auf der Basis Natururan und mit Graphit moderiert und ein Jahr nach Genf, also 1956, seine Arbeit aufnahm.

Calder Hall vorausgegangen waren zwei Forschungsreaktoren im Forschungszentrum Harwell, Berkshire, das zum britischen Atomzentrum ausgebaut wurde. Während in den ersten Jahren in den britischen Reaktoren noch die Gewinnung von Plutonium für die Kernwaffenproduktion im Vordergrund stand, sollte Calder Hall zum erstenmal zugleich für die kommerzielle Energieerzeugung genutzt werden.

Einer der ersten Forschungsreaktoren in Kanada wurde damals in Chalk River in der Provinz Ontario errichtet. Er arbeitete auf der Basis von Natururan und besaß eine thermische Leistung von 10000 Kilowatt.

Auch Frankreich drängte in den »Atomklub«: ein kleinerer Forschungsreaktor wurde in der ersten Nachkriegszeit in Saclay bei Paris gebaut.

Sechzehn Firmen fangen an

Eisenhowers Rede im November 1953 vor den UN und die Änderung des McMahon-Gesetzes erlaubten auch der Bundesrepublik Deutschland, sich in die atomare Entwicklung einzuschalten.

Die Initiative zu einer ersten deutschen Aktivität war von der Max-Planck-Gesellschaft ausgegangen und wurde nun von Bun-

deswirtschaftsminister Ludwig Erhard aufgegriffen. Schon seit 1952 hatten drei Fachkommissionen bestanden, die sich mit dem Bau eines ersten Kernreaktors befaßten.

Die erste Fachkommission unter Leitung von Wilhelm Bötzkes, Düsseldorf, hatte sich mit Fragen der Finanzierung, der Rechtsform und des Standortes befaßt. Die zweite Fachkommission unter Leitung von Franz Kirchheimer, Freiburg, beschäftigte sich mit Fragen der Urangewinnung und Aufbereitung. Schließlich stand die dritte Fachkommission unter Leitung von Karl Wirtz und befaßte sich mit der Beschaffung der Moderatoren, also Graphit und Schwerem Wasser.

Im Sommer 1954, als die Pariser Verträge zur Unterzeichnung heranreiften, war die Zeit gekommen, etwas Konkretes zu unternehmen. Nach einigen Vorgesprächen, an denen unter anderem Hermann Reusch von der Gutehoffnungshütte, seinerzeit Schatzmeister der Max-Planck-Gesellschaft, Wilhelm Alexander Menne, Präsident des Chemieverbandes und Vorstandsmitglied von Hoechst, sowie Wilhelm Bötzkes, Chef der Industriekreditbank und Vizepräsident der Max-Planck-Gesellschaft, teilnahmen, fand am 8. November 1954 die Gründung der Physikalischen Studiengesellschaft statt, und zwar in den Räumen der Industriekreditbank in Düsseldorf.

Als Zweck der Gesellschaft wurde in der Satzung festgelegt: »Die Gesellschaft verfolgt ausschließlich und unmittelbar den Zweck, die wissenschaftlichen Arbeiten für die friedliche Anwendung der Kernphysik zu fördern.« An der Gründung beteiligten sich 16 deutsche Firmen mit einem Kapital von je 100000 DM.

Der Staat delegiert seine Macht

Der Vorsitzende des ersten Aufsichtsrates war Wilhelm Bötzkes, Stellvertreter waren Hermann Reusch und Alfred Petersen von der Metallgesellschaft, Geschäftsführer wurde Ernst Telschow, der damals zugleich Geschäftsführer der Max-Planck-Gesellschaft war.

Die Gesellschaft berief einen wissenschaftlichen und technischen Beirat, in dem zu den bisher schon mit dieser Aufgabe be-

schäftigten Wissenschaftlern nunmehr Techniker der Industrie hinzutraten.

Mit dieser Gründung gelangte die Entwicklung der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland in ein entscheidendes Stadium. Von Beginn an war festgelegt, wie sich diese Arbeit organisatorisch gestalten sollte. Man hatte die Industrie mit der Wissenschaft zusammengebracht. Der Staat dokumentierte, daß er dieses Arbeitsgebiet nicht in eigener Machtvollkommenheit an sich nehmen wollte, wie das in den meisten anderen Ländern der Fall war.

Das war eine denkwürdige Aufgabe: die Herren aus den Verwaltungsgremien der Physikalischen Studiengesellschaft waren leitende Mitglieder ihrer industriellen Unternehmen. Zwar waren sie in der Mehrzahl Naturwissenschaftler und Techniker. Was ihnen jedoch die Kernphysiker an komplizierten Theorien vortrugen, war für sie zunächst völliges Neuland. Sie kannten einiges von der amerikanischen Entwicklung. Ein umfassendes Bild vom Stand des Reaktorbaus hatten sie sich jedoch nicht machen können. Außerdem waren viele Arbeiten bisher streng geheim gewesen. Im übrigen hatten sie andere wichtige Arbeiten im Hauptberuf zu erfüllen. Es ging um den Wiederaufbau ihrer Unternehmen, der alle Kräfte beanspruchte. Wer hätte Zeit und Muße für Entwicklungen gehabt, die so »weit weg von der Tradition« lagen . . .

Neue Energiequellen gesucht

Jetzt aber wurde es plötzlich sehr interessant. Hier eröffnete sich die Möglichkeit einer völlig neuen, bisher unbekannten Energiequelle. Gerade im Sommer 1955 gab es in der Bundesrepublik Deutschland eine ausgesprochene Energiekrise. Der Wiederaufbau schien bedroht. Die Kohle war nicht in der Lage, den übergroßen Bedarf zu befriedigen. Schon verhandelte die Wirtschaft mit den Vereinigten Staaten über die Einfuhr von Steinkohle; es wurden langfristige Verträge abgeschlossen, die später – als die Verhältnisse in der Montanunion übersichtlicher wurden – freilich nur mit Mühe und hohen Kosten wieder gelöst werden konnten. Zudem fehlte es allenthalben an Kraftwerksinstallationen. Der bis-

herige Wiederaufbau hatte die verfügbaren Grundlagen vorübergehend weit überfordert.

In dieser Lage war alles, was Energie liefern konnte, für die Wirtschaft willkommen.

Die Frage der Kohle wurde höchst unterschiedlich bewertet. Prognosen in dieser Hinsicht schwankten außerordentlich. Das machte wirtschaftliche Dispositionen schwierig. Es war keineswegs so, daß man die Kohle in Deutschland frühzeitig abgeschrieben hätte, vielmehr bestand für sie auch nach Abschaffung der Zwangswirtschaft, besonders unter politischen Aspekten, noch lebhaftes Interesse. Da es Verpflichtungen zu Kohlenexporten gab, waren die Beschaffungsmöglichkeiten innerhalb des Landes unzureichend.

Auch war der weitere Abbau von Stein- und Braunkohle – die heute einen so wichtigen Platz in unserer Energieversorgung einnehmen – ebenfalls nicht abzuschätzen. Noch Jahre danach hat es solche Situationen immer wieder gegeben.

Die Probleme mit der Kohle

Karl Winnacker erklärte dazu in der Hauptversammlung der Farbwerke Hoechst AG am 28. Juni 1955:

»Wir möchten an dieser Stelle auch darauf hinweisen, daß als zweite neue Sorge die Versorgung unserer Werke mit Kohle bzw. allgemein mit Brennstoffen sich abzeichnet. Schon jetzt sind wir gezwungen, im großen Maße amerikanische Kohle zu hohen Preisen einzuführen, während deutsche Kohle zu billigem Preis mehr als bisher exportiert werden muß. Eine widerspruchsvollere Situation ist kaum denkbar. Abgesehen von der Preissituation wäre es für die chemische Industrie ein schwerer Schlag, wenn sie in die Lage käme, ihre mit teurem Geld erbauten Erweiterungen, nach deren Produkten stärkste Nachfrage besteht, wegen Brennstoffmangels nicht voll betreiben zu können. Es müßte in größerem Maße als bisher das Interesse des deutschen Bergbaus sein, die Kohleversorgung der deutschen Industrie sicherzustellen, schon um sich selbst dagegen zu schützen, daß diese zu anderen Versorgungsmöglichkeiten greift. Wir möchten eine Entwicklung des

Kohlenvertriebs befürworten, die es uns ermöglicht, unsere Versorgung in langfristigen Verträgen mit unserem Partner zu sichern.«

Weiter in der Hauptversammlung der Farbwerke Hoechst AG am 1. Juni 1956:

»Noch besorgniserregender ist aber für uns die immer stärker werdende Gewißheit, daß wir den steigenden Bedarf ganz unabhängig vom Preis mengenmäßig nicht mehr befriedigen können. Es scheint zur Zeit so, daß Kohle und Strom als Rohstoff für die chemische Industrie nicht mehr zu vertretbaren Preisen in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen oder zum mindesten dem Wachstum der chemischen Industrie nicht mehr folgen können. Es war deswegen eine notwendige Konsequenz, umfangreiche Forschungsarbeiten anzusetzen, um neue Rohstoffquellen zu erschließen.«

Sodann in der Hauptversammlung der Farbwerke Hoechst AG am 22. Mai 1957:

»Ein besonders aktuelles und vorläufig recht neuartiges Arbeitsgebiet, um das wir uns in steigendem Maße im Rahmen der Forschung bemühen, ist das Gebiet der Atomenergie und Kerntechnik. Der große Stromverbrauch unseres Unternehmens, der mit unserem spezifischen Produktionsprogramm zusammenhängt, verlangt ein besonderes Interesse für die weiteren Möglichkeiten der Energiegewinnung, deren Zukunft auf der ganzen Welt Sorge bereitet. Es ist nicht damit zu rechnen, daß dieser sich laufend steigernde Energiebedarf mit altherkömmlichen Mitteln wie Wasserkraft, Kohle und Erdöl gedeckt werden kann.«

»Eine saubere, naturwissenschaftliche Haltung«

Bezeichnend für die Unruhe, die in den Jahren 1957/58 wegen der Kernenergie in Deutschland herrschte, ist die Anfrage einer Aktionärin in der Hauptversammlung am 20. Mai 1958:

Die Aktionärin: »Welche Garantie kann die Farbwerke Hoechst AG geben in Verbindung damit, daß sie sich in der Kernphysik, also der Atomkraft, beschäftigen, daß diese Atomkraft niemals, wenn es sich um politische Komplikationen handeln wird,

plötzlich in die Kriegsindustrie umgewandelt wird. Ich finde, daß diese Frage heute von einer solchen brennenden Wichtigkeit ist, daß ich sie mir heute zu stellen erlaube.«

Nachdem sich noch mehrere Aktionäre zu diesem Problem geäußert hatten, antwortet Karl Winnacker:

»Wir betreiben naturwissenschaftliche Forschung auf diesem Gebiet. Wir haben keinen Atomreaktor; wir haben keine Haftungsverpflichtung; wir werden in sorgfältiger Abwägung mit unserer Belegschaft dafür sorgen, daß wir auf diesem Gebiet nicht in etwas hineinkommen, wo wir nicht hingehören. Wir bitten Sie, dafür Verständnis zu haben in dieser Frage. Zum allgemeinen Einsatz der Atomenergie: Wir sind ja Staatsbürger wie Sie alle, meine Damen und Herren, und es ist klar, daß wir und damit die Hoechster Farbwerke eine saubere und naturwissenschaftliche Haltung einnehmen werden.«

Am 9. September 1955 berichtet Winnacker vor dem Aufsichtsrat der Physikalischen Studiengesellschaft in Düsseldorf über seine Eindrücke von der Genfer Atomkonferenz. Er sagt unter anderem: »Bei der Beurteilung der Situation macht man sich keiner Übertreibung schuldig, wenn man behauptet, daß sich die zivilisierten Völker in einer ähnlichen Situation befinden wie im Augenblick der Erfindung der Dampfmaschine oder des elektrischen Generators durch Werner von Siemens. In solchen Augenblicken der Geschichte der Technik werden schließlich Positionen bezogen, die für die nächsten Jahrzehnte unseren Lebensstandard bestimmen.

Neue Absatzmöglichkeiten . . .

Die deutsche Wirtschaft ist an diesem Problem nicht nur deswegen interessiert, weil sie sich der möglichen Fortschritte im Interesse der eigenen Energieversorgung bedienen muß, sie kann darüber hinaus neue Absatzmöglichkeiten finden, z.B. zur Lieferung von Moderatoren, Füllstoffen aller Art und schließlich ganzer Kraftwerke.« Und an anderer Stelle weiter:

»Die deutsche Öffentlichkeit muß sich darüber klar sein, daß hierfür große Mittel aufzuwenden sind. Man kann diese Aufgabe

nicht dadurch abwälzen, daß man erklärt, die Industrie müsse diese Mittel auftreiben. Die Öffentlichkeit und der Staat haben die Aufgabe, die grundsätzliche Voraussetzung für die Forschung und Lehre auf diesem Gebiet zu schaffen. Die Industrie wird ihre Mithilfe nicht versagen. Es ist aber nicht so, daß die Industrie hier unmittelbar verwertbare Ergebnisse erwarten könnte und sie deswegen bezahlen müßte. Die Forschungskosten der Privatindustrie sind schon jetzt beträchtlich größer als die Aufwendungen des Staates für diese Zwecke.«

Die Industriellen, die sich von nun an persönlich und mit ihren Unternehmen mit großem Elan um die Kernenergie bemühten, kamen aus der Elektrotechnik, der Metallwirtschaft, der Chemie und selbstverständlich der Elektrizitätswirtschaft. Die Auswahl der Persönlichkeiten, die nun tätig wurden, war mehr oder weniger zufällig. Niemand war ausgeschlossen. Es gab natürlich auch Menschen, die kaum interessiert waren, und vor allen Dingen auch solche, die nach den Erfahrungen von Krieg und Nachkriegszeit wenig Neigung zu einem solchen ungewissen Engagement verspürten.

Zum energiewirtschaftlichen Interesse aber kam jetzt hier in Düsseldorf die Freude am Neuen, Unentdeckten; nicht zuletzt das Bedürfnis, nach all den schwierigen Jahren aus sich herauszugehen, Bedeutsames zu schaffen. Dies alles führte Freunde und Förderer im Geist einer großen wissenschaftlichen Idee zusammen.

Mag in diesem Kreis damals zunächst vieles auch noch mit dem Blick von Laien gesehen worden sein, so zündete vor allem aber der Gedanke der anwesenden »Göttinger«, aus eigener Kraft einen Kernreaktor zu bauen. Die Männer, die hier zusammengekommen waren, standen als Praktiker mitten in der Zeit. Sie erkannten zumindest, daß die deutsche Industrie den Umgang mit der Kernenergie lernen könne, wenn man einen eigenen Reaktor baute. Diese Begeisterung hat sie nie verlassen, auch als sie lernen mußten, wie schwer – und wie teuer – dieser Weg sein würde.

Als Jahre später, nämlich 1961, der erste selbstgebaute Kernreaktor FR 2 in Karlsruhe kritisch wurde, war er mehr als nur ein Gesellenstück. Noch heute ist er ein bewährtes Forschungsinstrument; er dient vielen wissenschaftlichen Arbeiten, junge Kernphysiker steigen mit ihm in ihre Zukunft ein.

In aller Bescheidenheit nach Genf

Dies war der Stand der Dinge, als die deutsche Delegation sich im August 1955 zur ersten Atomkonferenz nach Genf begab. Geführt von Otto Hahn, war es eine Gruppe von fünf offiziellen Mitgliedern und siebenundzwanzig Beratern. Dazu kamen zahlreiche deutsche Besucher, »Schlachtenbummler« gewissermaßen, denn das Ereignis schien schon vorher von Belang. Diese Besucher berichteten ihre Eindrücke per Telefon nach Hause. Die Folge war, daß die Zahl der deutschen Zaungäste ständig wuchs.

Die Genfer Konferenz wurde für viele zu einem unvergeßlichen Erlebnis. Hunderte von Teilnehmern wurden sich zum erstenmal des tieferen Sinnes einer Entdeckung bewußt, die nun siebzehn Jahre zurücklag – und die durch Hiroshima und Nagasaki mit so entsetzlicher Deutlichkeit in das Weltbild der Menschen unserer Zeit eingedrungen war.

Einzigartig war auch die weltweite Resonanz, die der amerikanische Präsident mit seiner Einladung gefunden hatte. Noch nie war ein wissenschaftlicher Kongreß so umfassend, so international auf einen so elementaren Effekt gegründet und deshalb über alle Grenzen hinweg so faszinierend.

Es war denkbar bescheiden, was die deutsche Delegation an praktischer Erfahrung zum Sachgebiet der Konferenz in den Händen hielt. Indessen saß mitten unter den deutschen Teilnehmern jener Mann, der gerade in bezug auf das Motto der Konferenz: »Atoms for peace« im Jahre 1938 den ersten, den entscheidenden Schritt getan hatte: Otto Hahn. Er war gewiß der allerletzte, dem nach seinem Erfolg bei der Uranspaltung auch nur ein Gedanke gekommen wäre, diese neue, noch weithin unübersehbare Kraft kriegerisch zu nützen.

In Genf sitzt Otto Hahn unter Menschen aller Rassen, 1400 aus 73 Nationen – einsam. Auf den Plätzen hinter ihm sind – in alphabetischer Reihenfolge nach den englischen Ländernamen – vier Delegierte aus Ghana plaziert. Wer weiß, ob sie – immerhin auch Fachleute – eine Ahnung davon haben, wer der Mann da vor ihnen ist, geschweige, was der jetzt sechsundsiebzig Jahre alte Herr zum Thema dieser Konferenz beigetragen hat?

Wie wenig der Name des Entdeckers der Kernspaltung selbst amerikanischen Teilnehmern in Genf bekannt war, beweist eine kleine Anekdote: Interessantes Schaustück der Genfer Konferenz war ein amerikanischer Reaktor, der ständig von vielen Zuschauern belagert war. Einmal erschien in der Steuerwarte dieses Reaktors ein älterer Herr und fragte den diensthabenden amerikanischen Operator: »Darf ich auch einmal mit Ihrem schönen Reaktor spielen?« – »Sicher«, meinte der Angesprochene, »aber verstehen Sie denn überhaupt etwas von diesen Dingen?« – »Ich glaube schon«, meinte Otto Hahn schmunzelnd, »ich habe nämlich die Kernspaltung entdeckt«. Ungläubiges Staunen des Amerikaners, dann die Antwort: »Sorry, aber man kann ja schließlich nicht alle Leute kennen, die im Atomgeschäft tätig sind.«

Swimming Pool Reactor

Die Amerikaner hatten diesen ersten Reaktor, der öffentlich ausgestellt wurde, »Schwimmbadreaktor« getauft. In seinem Kern lagen 40 Pfund angereichertes Spaltmaterial; der Kern wiederum befand sich in einem großen, sieben Meter tiefen Wassertank. Das Wasser diente einerseits als Kühlmittel zur Ableitung der beim Betrieb entstehenden Wärme, andererseits als Moderator zur Abbremsung der Neutronen. Die maximale Leistung dieses Reaktors betrug 100 Kilowatt; in Genf arbeitete er jedoch nur mit einem Zehntel dieses Potentials. War er in Betrieb, dann konnte in der Tiefe des Tanks ein schwaches, blaues Glühen wahrgenommen werden; es war die mystische »Tscherenkow-Strahlung«, die der russische Physiker und Nobelpreisträger schon 1934 beobachtet hatte. »Wie Kinder um einen mit Geschenken beladenen Christbaum«, so notierte der amerikanische Journalist und Pulitzerpreisträger William L. Lawrence, »standen viele Wissenschaftler vor diesem Phänomen, dem prometheischen Feuer, das den langsamen Marsch des Menschen aus den Höhlen zu den Sternen zu symbolisieren schien.«

Die deutsche Delegation bewegte sich in Genf zunächst sehr vorsichtig und zurückhaltend. Sie wohnte in einem bescheidenen Hotel in der Nähe des Bahnhofes und mußte – auch aus finanziel-

len Gründen – auf die großen Empfänge verzichten, zu denen andere Delegationen allabendlich tausende von Gästen eingeladen hatten. Überdies wachte ein Herr vom Auswärtigen Amt sorgsam darüber, daß die Teilnehmer aus der Bundesrepublik nicht zu Empfängen von Ländern gingen, zu denen damals keine diplomatischen Beziehungen bestanden, wie etwa der Sowjetunion.

Allmählich verloren sich freilich die »Minderwertigkeitskomplexe« der deutschen Teilnehmer. Ihr Ansehen stieg in dem Maße, wie jeder einzelne in seinem Bereich persönlichen Kontakt zu den Teilnehmern aus anderen Ländern fand. Am meisten trug dazu wohl die Persönlichkeit Otto Hahns bei. So unbekannt er dem erwähnten »Operator« des Schwimmbadreaktors war, so wenig kannten ihn auch die jüngeren amerikanischen Physiker. Auf dem Ausstellungsstand der USA, wo viele Bilder von Atomphysikern hingen, fehlte seines. Nachdem einige deutsche Teilnehmer sich in netter Form darüber verwundert zeigten, prangte kurze Zeit später dort doch noch das Porträt des Seniors der deutschen Delegation.

Das Füllhorn der Amerikaner

Bei den wissenschaftlichen Vorträgen dominierten natürlich die Amerikaner. Aus dem vollen schöpfend, was den Stand ihres Wissens und ihrer Technik in der Kernphysik anging, lieferten sie freimütig wertvollste Beiträge über die Verwendung der Kernenergie und ihre Anwendung in der Energieversorgung, der Chemie, der Landwirtschaft oder der Medizin. Die amerikanische Delegation stand unter der Leitung von Lewis Strauss, dem Chef der Atomenergiekommission (AEC), der eine wesentliche Rolle als Eisenhowers Ratgeber für das Zustandekommen des Programms »Atome für den Frieden« gespielt hatte. Er hatte auch Laura Fermi, die Witwe des Nobelpreisträgers Enrico Fermi, nach Genf eingeladen. Ihr Mann war kurze Zeit vorher mit 51 Jahren an Krebs gestorben. Unter dem Titel »Atoms for the World« veröffentlichte Laura Fermi 1957 ein Buch, das die unvergeßlichen Tage von Genf festzuhalten versucht.

Aus den Vorträgen und Diskussionen in Genf ergab sich, daß in den nächsten fünf Jahren, also von 1955 bis 1960, mindestens

zehn Atomkraftwerke mit Leistungen bis zu 200 Megawatt entstehen würden. Die Intensität der Arbeit und auch die kerntechnischen Zielsetzungen waren in den einzelnen Ländern verständlicherweise recht unterschiedlich. Großbritannien mit seinen geringen Möglichkeiten der Nutzung von Wasserkraft und seiner unzureichenden Kohleversorgung war damals besonders stark an der Nutzung neuer Energiequellen interessiert. Mit den Calder-Hall-Reaktoren hatte man Typen von Reaktoren ausgewählt, von denen man die geringsten Schwierigkeiten und schnell elektrische Leistung sowie Plutonium erwarten konnte.

Aus wirtschaftlichen und militärischen Gründen wollten die Briten schnell arbeitsfähige Atomreaktoren, selbst auf die Gefahr, daß diese Typen in ein paar Jahren schon wieder überholt sein sollten, was dann tatsächlich auch der Fall war.

In den USA, wo man damals keine Energiesorgen hatte, interessierte mehr die langfristige Wirtschaftlichkeit. Die Amerikaner arbeiteten deshalb an höhergezüchteten Typen, insbesondere an Leichtwasserreaktoren.

Uran leihweise . . .?

Die deutsche Delegation mußte aber auch erkennen, daß eine Hilfe von seiten des Auslands durch Übermittlung von Erfahrungen anfangs nur schwer in Gang kommen würde. Amerika war dazu grundsätzlich bereit, aber diese Bereitwilligkeit war zunächst noch begrenzt.

Durch Vermittlung von W. A. Menne hatte Winnacker, der als Vertreter der Physikalischen Studiengesellschaft zur offiziellen Delegation gehörte, die Möglichkeit, Admiral Strauss in seinem Büro im Hotel Monopol in Genf zu sprechen. Dort war das Stammquartier der Amerikaner, die mit mehr als 500 Mann an der Konferenz teilnahmen.

Die Deutschen erfuhren, daß die Möglichkeiten einer amerikanisch-deutschen Zusammenarbeit über bilaterale Verträge zur Zeit gering seien. Sie lernten in diesem Gespräch, daß die USA mit vielen Nationen einen Standardvertrag abgeschlossen hatten, der auf der Basis von 6 kg leihweise überlassenem Uran 235 den Er-

werb eines Forschungsreaktors ermöglichte. Daß ein solcher Vertragsentwurf auch im deutschen Auswärtigen Amt seit Monaten vorlag, hörten sie von Admiral Strauss. Das Außenministerium hatte ihn bisher nicht weitergegeben.

Sie merkten auch, daß die USA bezüglich ihrer Bereitwilligkeit zur Zusammenarbeit zwischen den Nationen noch grundsätzliche Unterschiede machten.

Zum engeren Kreis der Vertrauten gehörten danach Belgien, Großbritannien und Kanada. Deutschland gegenüber war man noch skeptisch. Schon damals gab es die Idee, ähnlich der Montanunion eine Atomgemeinschaft in Europa zu schaffen, mit deren Hilfe sich die deutsche Aktivität besser überschauen lassen würde. Das Resumee der Unterhaltung mit Admiral Strauss, der erst später einen gleichnamigen deutschen Atomminister als Gegenpart erhielt, war klar und nüchtern. Deutschland sollte sich erst bewähren und eine Art Eintrittskarte durch Zuverlässigkeit und eigene Leistung erwerben, bis es zu zweiseitigen Verträgen mit den USA kommen konnte. Unter diesen Gesichtspunkten war es klar, daß eine Atombehörde auch in Deutschland nötig war, damit ähnlich wie in den USA etwaige Verhandlungen nicht allein dem Auswärtigen Amt überlassen blieben. Die Mitglieder der deutschen Delegation waren davon überzeugt, daß ein Erfolg vor allem vom Zugang zu internationalen Erfahrungen und weiterhin von dem Vertrauen abhing, das Deutschland erwerben würde. Auf militärischem Gebiet hatte die Bundesrepublik Deutschland ohnedies keinerlei Ambitionen. Aber es galt, für die friedliche Nutzung Handlungsfreiheit zu behalten, bis man in Deutschland genug Überblick über die technischen Möglichkeiten und selbst etwas in der Hand hatte.

Drehscheibe in Wien

Eines der bedeutendsten Ergebnisse von Genf war die Gründung der Wiener Atom-Behörde, der IAEO (Internationale Atomenergie-Organisation). Sie übernahm zunächst die Aufgabe, das angereicherte Uran zu verteilen. Hierzu stellten die Amerikaner 5000 kg U 235 kostenlos zur Verfügung. Durch dieses großzügige

Geschenk wurde damals die Entwicklung der Kernenergie überhaupt erst international möglich. Da die USA zunächst die einzigen Uran-»Besitzer« blieben, hatten sie auch die Chance eines Monopols. Sie bestimmen bis heute die Preise und das Ausmaß der Verteilung. Erst im Jahre 1973 haben die Russen gleichfalls U 235 angeboten.

Die Wiener Behörde wurde zu einer allgemeinen Kontrollbehörde, die später auch durch den Atomsperrvertrag und seine Handhabung an Bedeutung gewann. Sie wurde der Mittelpunkt eines reichen internationalen Erfahrungsaustausches.

Aber darüber hinaus ging von Genf eine Fülle internationaler Verpflichtungen und Verträge aus, die von jetzt an die Kernenergie zu internationalem Allgemeingut werden ließen, mit dem jede Nation sich – je nach ihren wissenschaftlich-wirtschaftlichen und technischen Möglichkeiten – beschäftigen konnte.

Die Stimmung von Genf schlug sich dank der ungewöhnlichen Aktualität des Themas in der Presse der ganzen Welt nieder. Zum erstenmal in der Geschichte waren es Naturwissenschaft und Technik, die die Nationen rund um die Erde gemeinsam bewegten. Die Weltmeinung war plötzlich bereit, umzuschwenken und ihre negative Einstellung zur Atomenergie zu ändern. Daß man entschlossen war, diesen neuen Weg in internationaler Zusammenarbeit zu gehen, und in Vereinbarungen die ersten Schritte dazu tat, war der wirkliche Erfolg dieser ersten Konferenz.

»Öffentlichkeitsarbeit« für die Atomenergie

Für das, was in Deutschland nun vorankommen sollte, war diese Stimmung von großem Wert. In Genf selbst wirkte sie auf die Delegation wie ein kategorischer Imperativ. Bei den morgendlichen Delegationsbesprechungen war auch die Presse zugegen. Mit bohrenden Fragen legte sie die Finger auf die Wunde der deutschen Rückständigkeit. Die Wissenschaftler und Techniker konnten nur etwas von vagen deutschen Plänen erzählen. Aus der fast überschwenglichen Beurteilung der atomaren Entwicklung, die damals in aller Welt herrschte, resultierte auch eine deutsche Verpflichtung, nun wirklich etwas zu tun; sie übertrug sich auch auf die

deutsche Öffentlichkeit, insbesondere aber auf die Parlamente und Regierungen, und erleichterte die Entscheidungen, die in der Bundesrepublik Deutschland jetzt getroffen werden konnten.

Diese erstmalige Publizität im Bereich der Kernenergie wurde ein vorbildliches Beispiel für die Förderung, die Wissenschaft und Technik so dringend brauchen. Wenn die öffentliche Meinung auch immer schwankte zwischen übertriebenem Optimismus und vorurteilsvoller Resignation, wenn sie Wege, die gegangen werden mußten, zuweilen auch falsch beurteilte, so hat diese »Öffentlichkeitsarbeit« doch gelehrt, daß die Wissenschaft ihr Tun verantworten muß – nicht nur wegen der Kosten, die sie verursacht, sondern auch wegen der moralischen Verpflichtung, die sie hat, und wegen der Hilfe, die sie braucht, wenn sie Neuland betreten will.

Leben lernen mit der Kernkraft

Das Erlebnis von Genf und der Beginn der weltweiten friedlichen Nutzung der Kernenergie fielen ohnehin in eine Zeit, als in Deutschland erstmals eine Aufgeschlossenheit Dingen gegenüber heranwuchs, mit denen sich die deutsche Öffentlichkeit bisher kaum beschäftigt hatte. In Pressekonferenzen, in den Zeitungen und Nachrichten der öffentlichen Medien gab es jetzt Ansätze für eine Meinungsbildung, zur Beurteilung technischer und wirtschaftlicher Fragen. Dabei mußten alle Beteiligten hinzulernen. Für Wissenschaftler und Industrielle war es ungewohnt und lästig, sich einer Kritik zu stellen, in der über Gegenwärtiges oder Zukünftiges allzu früh gesprochen wurde. Die Berichterstatter der Presse und der übrigen Nachrichtenmedien mußten lernen, mit Sachkunde und Selbstkritik über Dinge zu berichten, die, wie im Falle der Kernenergie, schwer verständlich, kostspielig und politisch brisant waren. Jedenfalls hat sich seit dieser Zeit auch in deutschen Tageszeitungen eine technische Berichterstattung von hohem Niveau entwickelt.

Gerade im Bereich der Atomenergie, die so eng mit militärischen Zielen verbunden ist, durfte nichts mehr geheim bleiben, sollte es auch nichts mehr geben, was vom Gedanken der friedlichen Nutzung ablenkte.

Auch diese Erkenntnis wurde in den ersten Monaten nach Genf gewonnen. Sie war die wichtigste Voraussetzung für das Gelingen dessen, was man deutscherseits vorhatte. Vernünftige und ehrliche Publizität ist noch heute unser aller Anliegen zu einer Zeit, da öffentliche Kritik selbstverständlich geworden ist, indessen gerade die öffentliche Meinung in Deutschland dazu neigt, alles in Frage zu stellen, was oft mit viel Mühe geschaffen worden ist.

Die Hochstimmung von Genf konnte nicht ewig währen. Damals herrschte das Gefühl vor, daß die Menschen sich erlöst glaubten von der Last der Atombombe und nun gern über die friedliche Nutzung der Kernenergie redeten.

Wenn man heute in Diskussionen die ständige und oft unsachliche Kritik unter den Gegnern der Kernenergie hört, so findet man nur wenig wieder von dem guten Willen, der seinerzeit die Teilnehmer in Genf beseelte.

Immerhin wuchs ein Gemeinschaftsgeist, der – bei aller Verschiedenheit der Menschen, die sich dort trafen – diese Genfer Tage zu einem eindrucksvollen Erlebnis werden ließ. Beim Abschied von Genf war die deutsche Delegation sicher, bei etwas Ungewöhnlichem »dabeigewesen« zu sein. Sie kam nach Hause mit dem Entschluß, die Arbeit aufzunehmen.

So ist gerade für alle Deutschen die Genfer Atomkonferenz von 1955 außerordentlich bedeutsam geworden.

Kapitel 4
Atompolitik in Deutschland

26. Januar 1956, Bonn, Palais Schaumburg. Die Deutsche Atomkommission tritt zu ihrer Gründung am Sitz des Bundeskanzlers zusammen. Vorsitzender ist der neuberufene erste deutsche Atomminister Franz Josef Strauß, der bis zu dieser Zeit Sonderminister im Kabinett Konrad Adenauer gewesen war. Im Jahre 1952 hatte der dynamische Bayer den von der Opposition hart bedrängten Bundeskanzler Adenauer in einer Debatte um die geplante Europäische Verteidigungsgemeinschaft rhetorisch glanzvoll unterstützt. Seither gehörte der junge CSU-Abgeordnete zur Spitzengarnitur der Bonner Regierungsparteien.

Die Bundesregierung hat ebenso rasch wie konsequent auf die Eindrücke von der Atomkonferenz in Genf reagiert. Hier war eine hochpolitische neue Aufgabe gestellt, da mußte der Repräsentant der Bundesregierung, der dieses Arbeitsgebiet übernehmen sollte, Ministerrang haben.

An jenem Januartag saßen die 25 Mitglieder dieser Kommission erstmals am großen Kabinettstisch zusammen. Minister Strauß war es, der nach Eröffnung der Sitzung – bei der darauffolgenden Wahl der stellvertretenden Vorsitzenden – für ein amüsantes Zwischenspiel sorgte: Als er Otto Hahn als einen der Stellvertreter vorschlug, erhob sich der damals Siebenundsiebzigjährige und meinte, er sei für dieses Amt wohl doch viel zu alt. Strauß antwortete prompt: »Vom Alter haben wir hier im Hause andere Vorstellungen«. (Adenauer war damals schon 80). Auf weiteres Zureden erklärte Hahn schließlich: »Ich beuge mich Ihrer Hartnäckigkeit, Herr Minister.« Strauß, schlagfertig: »Auch von Hartnäckigkeit hat man hier im Hause eine andere Vorstellung.« Zu solch pointierten Dialogen kam es immer, wenn Otto Hahn dabei war. Der

Mitglieder der Deutschen Atomkommission,
gebildet am 26. Januar 1956

Bundesminister Franz Josef Strauß – Vorsitzender –
Dr. Hermann J. Abs (Deutsche Bank AG, Frankfurt)
Dr. Hans C. Boden (AEG, Frankfurt)
Prof. Dr. Leo Brandt (Staatssekretär Nordrhein-Westfalen)
Prof. Dr. Ernst von Caemmerer (Universität Freiburg/Br.)
Dr. Rupprecht Dittmar (Deutsche Angestellten-Gewerkschaft, Hamburg)
Dr. Richard Fischer (Hamburgische Electricitäts-Werke AG, Hamburg)
Gerhard Geyer (Esso AG, Hamburg)
Dr. Hans Goudefroy (Allianz Versicherungs-AG, München)
Prof. Dr. Ulrich Haberland (Bayer AG, Leverkusen)
Prof. Dr. Otto Hahn (Max-Planck-Gesellschaft, Göttingen)
Prof. Dr. Otto Haxel (Universität Heidelberg)
Prof. Dr. Werner Heisenberg (Max-Planck-Institut für Physik, Göttingen)
Prof. Dr. Gerhard Hess (Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg)
Dr. Carl Knott (Siemens AG, Erlangen)
Dr. Wilhelm Alexander Menne (Farbwerke Hoechst AG, Frankfurt)
Dr. Alfred Petersen (Metallgesellschaft, Frankfurt)
Dr. Hermann Reusch (Gutehoffnungshütte Sterkrade AG, Oberhausen)
Dr. Hans Reuter (Demag AG, Duisburg)
Prof. Dr. Wolfgang Riezler (Universität Bonn)
Ludwig Rosenberg (Deutscher Gewerkschaftsbund, Düsseldorf)
Prof. Dr. Arnold Scheibe (Universität Göttingen)
Dipl.-Ing. Heinrich Schöller (RWE, Essen)
Prof. Dr. Gerhard Schubert (Universität Hamburg)
Dipl.-Ing. Georg Schulhoff (Handwerkskammer Düsseldorf)
Dr. Hermann Winkhaus (Mannesmann AG, Düsseldorf)
Prof. Dr. Karl Winnacker (Farbwerke Hoechst AG, Frankfurt)

alte Herr mochte weder übertriebenen Ernst noch besondere Feierlichkeit.

Nach der Sitzung wurde die Kommission von Bundeskanzler Adenauer empfangen und in Gegenwart von Presse und Rundfunk der Öffentlichkeit vorgestellt.

Der Stil sowohl der Sitzung als auch des Empfangs war charakteristisch für das Gemeinsamkeitsgefühl, das in jenen jungen Jahren in der Bundesrepublik Deutschland herrschte.

Die Gründung der Deutschen Atomkommission war ein Akt, wie er der deutschen Situation angemessen zu sein schien. Es war nicht an eine staatliche Behörde oder etwa eine Regierungskommission gedacht, wie sie in anderen Ländern, insbesondere in Gestalt der amerikanischen Atomenergiekommission, bestand. Es sollte vielmehr ein Gremium sein, das den Atomminister zu beraten hatte: Männer der Wirtschaft, der Wissenschaft und des öffentlichen Lebens, die zu diesem politischen, wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Thema etwas beitragen konnten. Ihre Namen sollten die nötige Resonanz haben und zugleich Gewähr dafür bieten, daß unerläßliche Hilfsmittel verfügbar gemacht werden konnten.

Verhandlungen in aller Stille

Die Mitglieder waren persönlich durch den Minister berufen worden. Sie konnten sich, wenn sie verhindert waren, nicht vertreten lassen. Vorsitzender der Kommission war der Atomminister, der in der Regel auch die Sitzungen leitete.

In der Gründungssitzung wurden drei gleichberechtigte stellvertretende Vorsitzende gewählt: Otto Hahn, Leo Brandt, Staatssekretär in Nordrhein-Westfalen, und Karl Winnacker, Vorstandsvorsitzender der Farbwerke Hoechst AG. Jedes Mitglied verpflichtete sich durch Handschlag in einem Gentlemen's-Agreement, über alle Verhandlungsgegenstände Schweigen zu bewahren. So war bei den Entscheidungen, die mit den Ministerien vorbereitet wurden, hinreichende Diskretion sicher. Das bedeutete natürlich auch, daß die Deutsche Atomkommission selbst weder Presseverlautbarungen herausgab noch Pressekonferenzen abhielt. Die Pressepolitik blieb dem Atomminister vorbehalten.

Die Kommission nahm unverzüglich die Arbeit auf. Sie basierte auf sechs Punkten, die in den Berufungsschreiben an die Mitglieder formuliert waren:

1. Ausarbeitung eines Gesetzes über die Verwendung der Kernenergie
2. Ausarbeitung eines Gesetzes über den Schutz der Bevölkerung gegen die Schäden durch radioaktive Stoffe
3. Ausarbeitung eines Schwerpunkt-Programmes für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der friedlichen Verwendung der Kernenergie
4. Ausarbeitung eines Koordinierungsprogrammes, um den erforderlichen Nachwuchsbedarf an Atomwissenschaftlern und Atomtechnikern sicherzustellen
5. Ausarbeitung von Vorschlägen für die planvolle Verwendung und Verteilung der für oben genannte Zwecke zur Verfügung zu stellenden Mittel des Bundes
6. Die Behandlung der Probleme, die sich aus dem Plan zur Errichtung einer europäischen Atomgemeinschaft und anderer internationaler Organisationen auf dem Gebiet der Kernenergie ergeben.

Zur Konkretisierung ihrer Arbeitsmöglichkeiten gründete die Atomkommission zunächst 5 Fachkommissionen, und zwar

I Kernenergierecht
II Forschung und Nachwuchs
III Technisch-wirtschaftliche Fragen bei Reaktoren
IV Strahlenschutz
V Wirtschaftliche, finanzielle und soziale Probleme.

Fünfzehn Jahre – rasch vorbei

Um eine enge Zusammenarbeit zwischen den Beratungen der Hauptkommission und denen der Fachkommissionen zu erreichen, wurden mindestens zwei Mitglieder der Hauptkommission auch in den Fachkommissionen tätig. Die Fachkommissionen sollten dann durch geeignete Sachverständige vervollständigt werden.

Die Mitglieder dieser Kommissionen wurden – auf Vorschlag des Präsidiums der Hauptkommission – vom Atomminister ernannt. Damit sollte jeder dieser Berufungen besonderes Gewicht beigelegt werden.

Die Fachkommissionen wiederum bildeten später Arbeitskreise, an die sie Einzelprobleme zur ständigen Bearbeitung delegierten. Der Minister berief auch die Herren seines Hauses, die zusammen mit ihren Referenten an den jeweiligen Sitzungen teilnahmen. Die Deutsche Atomkommission hat in dieser Form mehr als fünfzehn Jahre lang bestanden. Ihr Nutzen war offensichtlich. Der Minister verfügte über eine große Zahl von ehrenamtlichen Ratgebern, die durchaus eine eigentliche Atombehörde ersetzten, die sachverständig und bereit waren, Verantwortung zu tragen. Zur Zeit seiner größten Aktivität umfaßte dieser Beratungskreis ca. vierhundert Persönlichkeiten.

Als im Jahre 1969 die neue Bundesregierung Brandt mit vollständig neuen Vorstellungen ihre Reformen begann, hielt sie ein solches freiwilliges und wichtiges Beratungsorgan nicht mehr für notwendig. Die Deutsche Atomkommission wurde im Oktober 1971 durch einen Beschluß der Bundesregierung aufgelöst.

Heißes Eisen: Atomgesetz

In jener ersten Sitzung im Januar 1956 wurde schon über die Notwendigkeit eines Atomgesetzes diskutiert. Ein solches Gesetz war besonders dringlich. Die Pariser Verträge von 1954 hatten die alliierte Gesetzgebung außer Kraft gesetzt. So war vorübergehend ein gesetzloser Zustand eingetreten.

Wenn jetzt jedoch auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie die Initiative auf die Bundesregierung und damit auf den Atomminister übergehen sollte, dann bedurfte es dazu einer Änderung des Grundgesetzes, die wiederum nur mit einer Zweidrittelmehrheit des Parlaments durchgesetzt werden konnte.

Schon aus diesem Grund war ein ausgewogener Gesetzentwurf nötig. Es stand zu erwarten, daß das Parlament einen solchen Entwurf sehr kritisch betrachten würde, zumal die deutsche Öffent-

lichkeit die Entwicklung rund um die Kernenergie sehr aufmerksam verfolgte.

Eine Änderung der Verfassung war unumgänglich, da der Bund im Bereich der Forschung und Entwicklung der Kernenergie initiativ werden und dafür auch Mittel bereitstellen sollte. Derlei war bisher Vorrecht der Bundesländer gewesen. Das zweite Problem, das wiederum nur durch eine Verfassungsänderung gelöst werden konnte, war der Erlaß von bundeseinheitlichen Sicherheitsvorschriften und die Beaufsichtigung ihrer Anwendung. Auch solche Aufgaben zählten bislang zur Kompetenz der Länder.

Es war also zu gewärtigen, daß es bei diesen Fragen zu einem Widerstand der Bundesländer kommen mußte. Sie konnten ihre Ablehnung über den Bundesrat zum Ausdruck bringen, dessen Zustimmung zum Wirksamwerden dieses Gesetzes erforderlich war.

Beide Fragen, sowohl die Förderung von Wissenschaft und Lehre durch den Bund als auch die Zuständigkeit der Länder für die Genehmigung des Baus von Kernenergieanlagen, waren später noch Gegenstand parlamentarischer Auseinandersetzungen. Es gab immer wieder Ansätze, die mit dem Atomgesetz erstmals beanspruchte Gesetzgebungskompetenz des Bundes durch weitere gesetzliche Maßnahmen auf das gesamte Bildungs- und Forschungswesen auszudehnen.

Diese Entwicklung ist übrigens auch heute – fast zwanzig Jahre danach – noch nicht abgeschlossen. Die Unsicherheiten aus jenen Tagen haben dem deutschen Schul- und Universitätsleben, aber auch der Forschung an den Hochschulen insgesamt, sehr geschadet.

Wem gehört der Kernbrennstoff?

Ein wichtiger Komplex bei den ersten Diskussionen des Atomgesetzes war die Frage des Eigentums an Kernbrennstoffen. In allen anderen Ländern, in denen anfangs die militärische Nutzung im Vordergrund stand, gehörte der Kernbrennstoff dem Staat. Eine solche Regelung aber hätte in das Bild unserer sozialen Marktwirtschaft wenig gepaßt. Andererseits wurde geltend gemacht, daß die Kernbrennstoffe viel zu gefährlich seien, als daß man sie privat-

wirtschaftlicher Verfügung überlassen könne. Nachdem jedoch die zunächst leidenschaftlichen Diskussionen sachlicher geworden waren, erkannte man, daß das Thema gar nicht so brisant war.

Die deutschen Elektrizitätsgesellschaften, die einmal Eigentümer von Kernreaktoren und damit von Kernbrennstoffen sein sollten, sind zwar privatwirtschaftlich organisiert, aber sie stehen doch stark unter dem Einfluß der Kommunalverwaltungen und damit von Behörden. Andererseits mußten schon aus Gründen der Sicherheit Ankauf und Bewegung der Kernbrennstoffe so exakt kontrolliert werden, daß eine freie Verfügung erheblich eingeschränkt war.

Da die Bundesrepublik Deutschland Kernbrennstoffe vorwiegend aus den USA bezog, war sie schon aufgrund der Lieferverträge einer Kontrolle unterworfen. Nach Gründung von Euratom, der Europäischen Atomgemeinschaft der sechs Mitgliedstaaten des Gemeinsamen Marktes, wurde die Bundesrepublik Deutschland von dieser Behörde kontrolliert. Im Euratomvertrag wurde festgelegt, daß Euratom Eigentümerin der besonderen spaltbaren Materialien wurde. Sie werden über die Euratom-Versorgungsagentur den einzelnen Ländern bzw. den Betreibern von Kernenergieanlagen im Rahmen von Lieferverträgen zur Verfügung gestellt.

Die Atomkommission bildete frühzeitig die Fachkommission I »Kernenergierecht«. Sie hat unter dem Vorsitz von Ernst von Caemmerer, Professor an der Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg, am Regierungsentwurf des Atomgesetzes intensiv mitgearbeitet. Ein Arbeitskreis »Haftung und Versicherung« beschäftigte sich mit den entsprechenden Fragen, die in dem Gesetz geregelt werden sollten.

Um »Haftung und Versicherung« gibt es bis heute immer wieder Diskussionen. Eine Haftung für Großkatastrophen konnte den Eigentümern eines Kraftwerkes allein nicht zugemutet werden. Inzwischen sind dafür internationale Konventionen abgeschlossen worden.

Die Atomkommission hat den Regierungsentwurf des Atomgesetzes ausführlich beraten und schließlich im April 1956 einstimmig gutgeheißen. Das war eine erste Probe auf ihre Funktionsfähigkeit.

Als viel problematischer erwies sich die Verabschiedung durch den Bundestag. Schon im Februar 1956 hatte die FDP eine Initiative ergriffen, die auf die Bildung einer zentralen Bundesanstalt hinauslief. Glücklicherweise aber fand dieser Entwurf keinen Anklang.

Im Februar 1957 brachte Atomminister Siegfried Balke, der schon Ende 1956 seinen CSU-Parteifreund Franz Josef Strauß abgelöst hatte – Strauß übernahm damals das Verteidigungsressort –, den Regierungsentwurf, also das Atomgesetz und die geplante Ergänzung des Grundgesetzes, zu einer ersten Lesung in den Bundestag ein. Das Gesetz überstand die dann noch folgende intensive Diskussion fast unverändert. Die für seine Verabschiedung notwendige Grundgesetzänderung freilich fand dann nicht die erforderliche Zweidrittelmehrheit im Bundestag. Bevor die Abstimmung wiederholt werden konnte, kam es zu grundsätzlichen Hindernissen. Bundesregierung und CDU/CSU fragten sich, ob es nicht allzu große Einschränkungen bedeute, wenn das Gesetz ausschließlich auf die friedliche Nutzung der Atomenergie beschränkt bliebe. Das könne schließlich Einschränkungen auch in bezug auf die Verteidigung nach sich ziehen. Dabei war nicht so sehr an die Herstellung von Atomwaffen, sondern eher daran gedacht, daß die Bundesrepublik einmal – etwa innerhalb der NATO – in den Besitz von Atomwaffen kommen könne. Das aber sei durch die Einfügung des Adjektivs »friedlich« in dem Gesetz erschwert.

Über diesen Punkt gab es einige Erregung, und zwar schon innerhalb der CDU/CSU-Regierungsfraktion. Auch kam es zu heftigen Diskussionen mit der SPD. Die Mehrheit der deutschen Bevölkerung wollte von Atomwaffen nichts wissen. Nachdem die Vorlage in den beiden ersten Lesungen gescheitert war, verzichtete man auf die letzte Lesung. Für den Rest der Legislaturperiode blieb es dabei.

Die verzögerte Verabschiedung der Gesetzesvorlage brachte den Bundesländern Schwierigkeiten. Noch immer galt ja, solange es kein neues deutsches Gesetz gab, das Verbot der früheren alliierten Hohen Kommission, Reaktoren zu bauen. Deswegen mußten in der Zwischenzeit in sieben Bundesländern, die schon Reaktoren bestellt hatten, eigene Landesgesetze im Hinblick auf die Anwendung der Kernenergie geschaffen werden. Sie waren jedoch so formuliert, daß sie nur provisorischen Charakter hatten und später außer Kraft gesetzt werden konnten, wenn das Bundesgesetz erlassen werden sollte.

Ende 1957 hatten Bundestagswahlen stattgefunden. Somit war ein neuer Anlauf für die Gesetzgebung notwendig. Jetzt verliefen die Verhandlungen sehr viel weniger emotionell. Eine Gedankenverbindung zwischen friedlicher Nutzung der Kernkraft und atomarer Rüstung bestand kaum noch, so daß die früheren Hindernisse schnell beseitigt waren. Der Regierungsentwurf wurde in etwas abgeänderter Form erneut vorgelegt und schließlich am 23. Dezember 1959 vom Bundestag einstimmig verabschiedet.

Das Atomgesetz trat am 1. Januar 1960 in Kraft.

Steine auf dem Weg zu Euratom

Schon im März 1956 wurde die Atomkommission mit dem Euratom-Problem konfrontiert. Die Aufgaben dieser europäischen Gemeinschaft bestehen insbesondere in der Förderung der Forschung, Verbreitung von Kenntnissen, der Erleichterung von Investitionen, vor allem aber der Versorgung der Mitgliedsstaaten mit Kernbrennstoffen über die sogenannte Europäische Versorgungsagentur. Hinzu kommt die Erarbeitung von Grundnormen des Strahlenschutzes. Deutschland hatte es mit seinen liberalen Auffassungen bei internationalen Bindungen besonders schwer. Es mußte darauf achten, daß es nicht in monopolartige Organisationen eingeordnet wurde, bevor es eine Vorstellung von seinen eigenen Möglichkeiten im Bereich der Kernenergie haben konnte. Andere Mächte – in Europa gehörte dazu besonders Frankreich – waren in diesem Punkt seit langem auf konkrete Konzeptionen festgelegt.

In Deutschland herrschte von Anfang an die Meinung vor, daß neben der Euratomgemeinschaft auch die Zusammenarbeit in der damaligen OEEC (der späteren OECD) mit ihren europäischen Ländern bestehen bleiben müsse. Auch war man deutscherseits nicht damit einverstanden, daß den Einzelmitgliedern von Euratom der Abschluß bilateraler Verträge mit Dritten untersagt sein sollte.

Die Franzosen, die bei den Verhandlungen aus der Nachkriegssituation heraus und wegen ihres technischen Vorsprungs zweifellos in der stärkeren Position waren, strebten – gemäß ihrer eigenen Verwaltungs- und Wirtschaftsform – eine dirigistische Verfassung in allen diesen internationalen Behörden an.

Die Verhandlungen zur Gründung der EWG waren noch nicht abgeschlossen. Es lagen damals Zweifel in der Luft, ob dieser wichtige Zusammenschluß überhaupt zustandekomme, so daß Montanunion und Euratom schließlich die einzigen Gemeinschaftsorganisationen bleiben könnten. Gerade bei der Kernenergie aber, bei der Deutschland soeben erst begonnen hatte, anderthalb Jahrzehnte Vorsprung anderer Länder aufzuholen, befürchtete man eine allzu enge und zu frühe Bindung.

Um die europäische Einigung

Andererseits verfocht die Bundesrepublik Deutschland den Zusammenschluß aller westeuropäischen Länder. Ihr außenpolitischer Unterhändler, Walter Hallstein, der später zehn Jahre Präsident der EWG-Kommission war, trat besonders entschieden für ein politisch vereintes Europa ein. Gerade auf dem Kernenergiegebiet war es schmerzlich, daß Großbritannien dem Euratomvertrag nicht beitreten wollte.

In der Deutschen Atomkommission bestand weitgehende Einigkeit darüber, daß die friedliche Nutzung der Kernenergie kein ideales Terrain für eine allzu frühe völkerrechtliche Bindung war. Die einzuschlagenden naturwissenschaftlichen und technischen Wege ließen sich noch nicht genügend übersehen. Die sechs Euratom-Mächte waren – bei allem unterschiedlichen Stand ihres Wissens – Amerikanern und Engländern allzu weit unterle-

gen, um selbständig eine erfolgreiche Atompolitik treiben zu können.

Bald war jedoch zu erkennen, daß im Hinblick auf die europäische Einheit politische Gesichtspunkte überwogen. Frankreich wollte eine enge Bindung an die in Frage kommenden europäischen Länder, vor allem an die Bundesrepublik Deutschland. Paris hatte damals schon die Absicht, Kerntechnik auch für militärische Zwecke zu benutzen. Dies war offenbar der Grund dafür, daß in dem Vertragswerk – in dem von der Beschaffung spaltbarer Materialien, der Planung gemeinsamer Anlagen und deren Kontrolle die Rede war – zwischen friedlicher und militärischer Nutzung nicht klar unterschieden wurde. Selbstverständlich achteten die Franzosen sorgfältig darauf, daß sich in Deutschland die militärische Wiederaufrüstung in Grenzen hielt.

Auch die USA, die zwar inzwischen zu bilateralen Verträgen mit Deutschland bereit waren, legten Wert darauf, das deutsche Potential frühzeitig in eine europäische Gemeinschaft einzubauen. So war es schlechthin ausgeschlossen, daß sich die Bundesrepublik Deutschland von der Euratom-Gemeinschaft hätte fernhalten können.

Als die Atomkommission Ende Februar 1957 zu einer Sitzung zusammenkam, wurde bekannt, daß inzwischen die Regierungschefs und Außenminister der Montanunion bei einem Treffen in Paris Einvernehmen über den Text des Euratom-Vertrages erzielt hatten. Er wurde am 25. März 1957 zusammen mit dem Vertrag zur Gründung der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft durch die Regierungschefs in Rom unterzeichnet.

Die Atomkommission fühlte sich von der Bundesregierung übergangen, weil sie auf diese Weise hinsichtlich der entscheidenden Abschlußverhandlungen vor vollendete Tatsachen gestellt wurde. Selbstbewußt faßte sie einen ausdrücklichen Beschluß, in dem dieses Vorgehen beanstandet wurde. Damit sollte keineswegs an der Europapolitik Kritik geübt werden. Denn alle Mitglieder der Atomkommission waren überzeugte Befürworter der europäischen Einigung.

Die Deutsche Atomkommission hatte gegen den Inhalt des Euratom-Vertrages vielerlei Bedenken. Gewiß waren einige der

starren Monopolbestimmungen gefallen. So etwa hatte man erreicht, daß die Zusammenarbeit innerhalb der OEEC fortgesetzt werden konnte, was sich als außerordentlich nützlich erwies. Auch behielten die Einzelmitglieder von Euratom die Möglichkeit, bilaterale Verträge abzuschließen. Dies wiederum war besonders für die Politik gegenüber Amerika und England sehr wichtig.

Andererseits schien vieles unbefriedigend gelöst, zum Beispiel die Eigentums- und Kontrollfrage. Die zentralistische französische Auffassung hatte sich weitgehend durchgesetzt. Später stellte sich freilich heraus, daß manches doch besser geregelt werden konnte, als anfangs befürchtet wurde. So fanden sich Antworten auf die gemeinsamen Beschaffungs- und Kontrollprobleme. Deutschland behielt auch die Möglichkeit, die OEEC-Vorhaben weiterzuführen, teilweise recht erfolgreich. Insbesondere hat die Wiederaufarbeitungsanlage, von der OEEC in Mol in Belgien errichtet, für die Erschließung dieses schwierigen Arbeitsgebietes wertvolle Beiträge erbracht.

Wenig Glück mit Euratom

Die Euratom-Behörde begann Anfang 1958 ihre Arbeit. Fünf Mitgliedsstaaten entsandten je einen Vertreter in die Kommission. Der Präsident der Kommission – bis Januar 1959 war es der Franzose Louis Armand, dem im Februar des gleichen Jahres sein Landsmann Etienne Hirsch folgte – hat seine Aufgabe mit großer Sachkenntnis überparteilich gemeistert. Für Deutschland waren Heinz Krekeler, für Italien Enrico Medi, für Belgien Paul de Groote und für die Niederlande Staatsminister Emanuel Sassen die ersten Kommissare.

Einem Beirat für Wissenschaft und Technik gehörten von deutscher Seite Karl Winnacker, Otto Haxel, Hermann Holthusen, Hans Reuter, der Vorstandsvorsitzende der Demag, und Walther Schnurr an. Winnacker schied nach einiger Zeit wieder aus, weil die zeitliche Beanspruchung zu groß war.

Die Arbeit der Euratom-Organisation war nicht von besonderem Erfolg begleitet. Ihr politisches Gewicht stärkte zwar den europäischen Gedanken und lieferte wertvolle Beiträge zur Konsoli-

dierung Europas. Auch die energiewirtschaftspolitischen Aussagen der Behörde hatten Gewicht. So stammte aus der Feder der drei »Atomweisen«, des Deutschen Franz Etzel, des Franzosen Louis Armand und des Italieners Francesco Giordani, das erste europäische Energieprogramm.

Die wissenschaftlichen und technischen Möglichkeiten von Euratom sind weit überschätzt worden. Die Kommission, die zu Beginn recht euphorische Vorstellungen hatte, unterschätzte den Individualismus des alten, traditionsbewußten Europas. So träumten manche zu Beginn sogar von europäischen Universitäten. Man übersah dabei, daß gerade die alten europäischen Universitäten von ihren Anfängen her international gewesen waren.

Der Gedankenaustausch und die Einigung über die Forschungsziele litten an der recht starren Verhandlungsform. Es ist eben schwierig, Probleme naturwissenschaftlicher Art grundsätzlich anzugehen, wenn dabei ständig die drei Konferenzsprachen Französisch, Italienisch und Deutsch verwendet werden. Einfacher wurde der gegenseitige Kontakt schon beim anschließenden Essen, bei dem Englisch gesprochen wurde. Zu Beginn erhielten die Deutschen wenig Unterstützung von Bonn. Die Franzosen hingegen stützten sich auf eine voll arbeitsfähige staatliche Atomkommission in Paris.

Die Ziele wechseln mit der Zeit

Die von Euratom gegründeten Forschungseinrichtungen blieben ohne großen Erfolg. Es fehlte ihnen an freier Entwicklungsmöglichkeit, ihre Aufgaben waren zu eng begrenzt und, wie bei dem gemeinsamen Forschungszentrum in Ispra in Norditalien, unglücklich ausgewählt.

Viel erfolgreicher war Euratom bei der Zusammenarbeit mit nationalen Projekten, zum Beispiel bei der Errichtung des Transurane-Instituts innerhalb des Kernforschungszentrums Karlsruhe oder beim Reaktor in Gundremmingen, der den Status eines sogenannten gemeinsamen Unternehmens hat.

Frankreich verlor sein Interesse an Euratom, als im September 1960 Charles de Gaulle den »nationalen Charakter« der französi-

schen Atomstreitmacht betonte, deren Aufbau schon vor seiner Präsidentschaft begonnen worden war. Jetzt wurde es schwierig, die gemeinschaftlichen Forschungsprogramme überhaupt weiterzuführen. Die Bundesrepublik Deutschland hingegen strebte nach europäischer Gemeinsamkeit, die ihr politisch eine gewisse Rückendeckung geben sollte.

Der Eintritt in die Europäische Atomgemeinschaft hatte selbstverständlich finanzielle Pflichten zur Folge. Schon im zweiten Fünfjahresprogramm hatte sich ihr Budget von 500 Millionen Dollar mehr als verdoppelt. Es dauerte übrigens eine lange Zeit, bis die Zahlungsbilanz mit Euratom ausgeglichen war, d.h. bis etwa die dreißig Prozent des deutschen Beitragsanteils in Form von Zuschüssen zu eigenen Projekten wieder zurückflossen. Der verstorbene Staatssekretär Wolfgang Cartellieri sowie Staatssekretär Hans-Hilger Haunschild haben im Laufe der Zeit wesentlich dabei mitgeholfen, die deutschen Interessen in der Euratombehörde stärker zur Geltung zu bringen.

1967 ging die Euratom-Organisation endgültig in der gemeinsamen Kommission der europäischen Gemeinschaften auf.

Ein ganzer Zaun von Zuständigkeiten

Der erste Atomminister Franz Josef Strauß hatte sich seinen Platz zwischen den traditionellen Ressorts erst erkämpfen müssen. Die meisten Ministerien hatten schon über die neu auftauchende Kernenergie nachgedacht und ihre Position zu den Atomproblemen bezogen.

Jetzt, da ein eigener Atomminister bestellt war, mußte jedes Ressort etwas von seinen Kompetenzen abgeben. Es war wie in einer gut besetzten Straßenbahn, wo sich ein hinzusteigender Fahrgast erst seinen Platz erobern muß.

Schon gelegentlich der Gründung von Euratom hatte es eine Probe davon gegeben. Das Auswärtige Amt beanspruchte die Federführung bei internationalen Verhandlungen. Noch bei der ersten Genfer Atomkonferenz hatte die Delegation unter Führung des inzwischen verstorbenen Botschafters Carl Friedrich Ophüls gestanden.

Später leitete dann der Atomminister selbst die Delegation. Stets aber gab es irgendein Problem der Zuständigkeit mit dem Auswärtigen Amt, besonders nachdem die internationalen Behörden gegründet waren. Auch danach hat dieser Primat der Außenpolitik immer eine Rolle gespielt. Nirgendwo zeigte sich dies deutlicher als bei den späteren Verhandlungen über den Atomsperrvertrag.

Vergleichsweise einfach verlief die Übernahme der Aufgaben aus dem Bereich des Wirtschaftsministeriums. Wirtschaftsminister Ludwig Erhard, großzügig und liberal, der um den Start der Kernenergie in Deutschland durch Mithilfe bei der Gründung der Physikalischen Studiengesellschaft große Verdienste hat, gab diesen Komplex im Sinne einer vernünftigen Entwicklung ohne Zögern ab. Ministerialrat Joachim Pretsch und sein Kollege Erich Pohland traten aus dem Wirtschafts- in das Atomministerium über. Pretsch hat dort bis zu seinem Tode im August 1970 maßgeblich an allen wichtigen Entscheidungen mitgearbeitet. Pohland übernahm später die Leitung der Wiederaufarbeitungsanlage in Mol in Belgien.

Um den Strahlenschutz

Andere heikle Fragen der Zuständigkeit kamen auf Minister und Kommission zu, als es im Sommer 1956 darum ging, das Problem des Strahlenschutzes zu behandeln. Dazu wurde die Fachkommission »Strahlenschutz« gegründet, deren Leitung der Vorsitzende des Deutschen Gewerkschaftsbundes Ludwig Rosenberg übernahm.

Das Atomgesetz ermächtigte den Atomminister, eine Strahlenschutzverordnung zu erlassen. Als Vorlage dafür kam vorerst nur das in anderen Ländern, vor allem in den USA, geltende Recht in Betracht. Es ging bei dem Thema zunächst um den Strahlenschutz in den bestehenden und noch zu errichtenden kerntechnischen Anlagen sowie die Sicherheitsüberwachung der Belegschaft und ihre medizinische Beobachtung hinsichtlich der Strahlenbelastung. Es galt ferner, die zulässige Belastung der Bevölkerung durch radioaktive Strahlung aus kerntechnischen Anlagen festzulegen. Schließlich gehörte aber hierzu die internationale Beobachtung der

Strahlenverhältnisse einschließlich der Erfassung von Belastungen aus Atombombenversuchen in der Erdatmosphäre.

Die Atomkommission war sehr erfreut, daß Ludwig Rosenberg diese Aufgabe übernahm. Er konnte am ehesten an dieser Stelle die Rechte und Pflichten all der Mitarbeiter vertreten, die bald zu Tausenden in Kliniken und kerntechnischen Einrichtungen von Strahlenbelastung betroffen sein könnten. Auch hatte Rosenberg ausgezeichnete internationale Verbindungen durch die vielfältigen Möglichkeiten der Gewerkschaften.

Merkwürdigerweise gab es hier schon erste Kompetenzschwierigkeiten. Zunächst übernahm das Atomministerium Ausarbeitungen, die schon vor seiner Gründung im Arbeitsministerium angefertigt worden waren, und begann damit seine Arbeiten. Ein Gesundheitsministerium existierte damals noch nicht. Die entsprechende Abteilung war dem Bundesinnenministerium zugeordnet.

Noch fehlt es an Zusammenarbeit

Unter dem Eindruck der allgemeinen Unruhe über die Zunahme radioaktiver Strahlung als Folge der Atomwaffenversuche und der zu erwartenden Verwendung der Kernenergie hatte der Bundestag im Vorgriff auf die Arbeit der Atomkommission beschlossen, einen Sonderausschuß »Radioaktivität« einzusetzen. Dieser Ausschuß sollte unter seinem Vorsitzenden Boris Rajewsky, dem Direktor des Max-Planck-Institutes für Biophysik in Frankfurt, einen Bericht über die allgemeine Situation verfassen. Statt die neue Gruppe in die Organisation der Atomkommission aufzunehmen, beschloß die Kommission schließlich auf Vorschlag von Rosenberg, bei der Bildung dieses Sonderausschußes zwar Hilfestellung zu leisten, ihn sich aber nicht einzugliedern.

Dies war das erste Mal, daß es auf dem Gebiet der Kernenergie Gremien gab, die außerhalb der Reichweite der Atomkommission arbeiteten. Damit wurde gleich zu Beginn eine Situation geschaffen, in der die Atomkommission nicht mehr der einzige Berater des Ministers war. Leider hat sich das später mehrfach wiederholt. Darunter litt die Einheitlichkeit der Zusammenarbeit.

Solche Entwicklungen hatten ihre Ursache in der grundsätzlichen Arbeitsweise der Atomkommission. Sie war eben keine richtungweisende staatliche Organisation, sondern hatte lediglich beratende Aufgaben. Immer wieder gab es zu Anfang Stimmen in der Atomkommission, die forderten, ihr eine amtliche staatliche Funktion zu geben. Die Mehrheit der Mitglieder aber lehnte dies ab. Schließlich wirkten in Deutschland zu viele schlechte Erinnerungen an die Monopolstellung des Staates in der Zeit des Dritten Reiches nach.

Doch zurück zum Sonderausschuß »Radioaktivität«. Sein Bericht ließ lange auf sich warten. Schließlich entstand eine erste Strahlenschutzverordnung vom 24. Juni 1960, die am 1. September 1960 in Kraft trat. Seither wurde sie mehrfach den internationalen Auffassungen angepaßt, besteht aber in den wesentlichen Grundzügen noch heute.

Eine Reaktorsicherheits-Kommission

Die Verzögerung bei der Verabschiedung des Atomgesetzes hatte dazu geführt, daß sich bei den Ländern, die für die Genehmigungsverfahren zuständig waren, schon eine gewisse Praxis auf diesem neuen und noch unerschlossenen Gebiet eingebürgert hatte. So war es schon von Anfang an für das Atomministerium doppelt schwierig, sich hier einzuschalten, zumal man über keine administrativen Voraussetzungen und auch über keine Erfahrungen verfügte. – Im Mai 1958 berief deswegen der Minister eine Reaktorsicherheits-Kommission, die unter Vorsitz von Josef Wengler, Vorstandsmitglied und Chefingenieur der Farbwerke Hoechst AG, aus fünfzehn Personen bestand und für das Ministerium Vorentscheidungen fällen sollte. Die Mitglieder waren Sachverständige aus der Industrie und von den Universitäten, technischen Hochschulen und öffentlichen Instituten. In ihrer Geschäftsordnung fand sich die Vorschrift, daß die Entscheidungen einstimmig sein mußten.

Der Minister hat die Konstituierung dieser Kommission ohne Befragung der Atomkommission vorgenommen. Auch später bestand zwischen beiden Gremien kaum ein offizieller Kontakt. So

ergab sich innerhalb des Ministeriums und seiner Arbeitsweise eine gewisse Polarität. Neben der hauptsächlichen Aufgabe, die sich aus der Förderung der neuen Technik ergab, entstand eine Administration, die für Strahlenschutz, Sicherheit und Genehmigungsverfahren zuständig war. Je mehr dies offenbar wurde, desto geneigter schienen die Verantwortlichen in Bonn, aus der Not eine Tugend zu machen. Man erklärte der Öffentlichkeit gegenüber, diese Unabhängigkeit zweier Verwaltungsteile voneinander sei beabsichtigt, damit diejenigen, welche die Kernenergie fördern, einen Gegenpart in einer Überwachungsorganisation hätten. Dieser Standpunkt ließ sich nicht aufrechterhalten, zumal beide Abteilungen unter einer Leitung standen.

Die Wasserwirtschaft für den Atomminister

Einige Zeit hatte man die Absicht, dem neuen Ministerium weitere Aufgaben dieser Art zu übertragen. Im Jahre 1957 wies man ihm unter Minister Siegfried Balke die Wasserwirtschaft zu. Die Initiative bedeutete im Grunde genommen die erste Bemühung um einen bewußten Umweltschutz. Der Versuch aber mußte scheitern. Die Kompetenzen lagen und liegen auch jetzt noch bei den Bundesländern. Soweit der Bund dafür zuständig war, trugen diese Verantwortung das Bundeswirtschafts- und das Innenministerium. Wo es um Wasserstraßen ging, kam noch das Verkehrsministerium hinzu. Die Aufgabe wurde schließlich an die bisher Zuständigen zurückgegeben. Eine ordnende generelle Bundeskompetenz mit Weisungsbefugnis gegenüber den Ländern gibt es dafür bis heute nicht.

In dieser Richtung konnte das Atomministerium keine Erweiterung seiner Kompetenzen erreichen. Sogar die Sicherheitsüberwachung wurde im Jahre 1972 dem Bundesinnenministerium übertragen, das damit zugleich, wenn auch in etwas veränderter Form, die Reaktorsicherheits-Kommission übernahm.

Diese bei oberflächlicher Betrachtung richtig erscheinende Entscheidung entsprach dem Gedankengang von Verwaltungsbeamten und ist bei historisch entwickelten und übersehbaren Arbeitsgebieten zweifellos auch angemessen.

Bei der Kernenergie aber war diese Trennung sehr viel schwieriger, weil sich die Kriterien, die den Sicherheitsüberlegungen zugrunde liegen, mit großer Dynamik änderten oder überhaupt erst erarbeitet werden mußten.

Zu viele Zuständigkeiten

Solche Arbeiten kann aber wiederum eine Sicherheitsbehörde nicht ausführen. Aus diesem Zwiespalt rühren die Schwierigkeiten, die erst begannen, als die Kernenergie zu größerer wirtschaftlicher Entfaltung kam und die Objekte schwieriger zu beurteilen waren. Der Atomminister und die Atomkommission gerieten mit den Kompetenzen, die ihnen das Atomgesetz zunächst allein zuschrieb, in dauernde Konflikte mit anderen, nun ebenfalls zuständigen Bundesressorts und den Bundesländern, die über den zur Erarbeitung der Genehmigungsunterlagen erforderlichen Beamtenapparat verfügten.

Über diesen Problemen und Kulissenkämpfen, die das Ministerium gerade in der ersten Zeit beschäftigten, wurde die wichtigste Aufgabe dennoch nicht vergessen. Atomminister und Atomkommission waren mit Begeisterung bestrebt, sowohl gemeinsam als auch jeder für sich die Kernenergie zu fördern. Gerade dafür aber war die liberale Beweglichkeit der Kommission sehr nützlich. Da die meisten Mitglieder über gute internationale Beziehungen verfügten, hatte man schon nach kurzer Zeit einen Überblick über die weltweite Entwicklung. Das galt nicht nur für die Industriellen, sondern erst recht für die Wissenschaftler, die schnell ihre alten Verbindungen wiederhergestellt hatten.

Schon im Jahre 1953 konnte Karl Wirtz an einer internationalen Atomenergie-Konferenz in Skandinavien teilnehmen. Minister Franz Josef Strauß machte schon 1955 eine Reise in die USA, wobei ihn der Physiker Otto Haxel von Heidelberg und Gerhard Geyer, Vorstandsvorsitzender der Esso AG, begleiteten. Solche gemeinsamen Reisen waren damals besonders fruchtbar. Internationale Fühlungnahmen kamen mehr oder weniger zwanglos in allen Ländern zustande, die den Deutschen zugänglich waren und von denen sie etwas lernen konnten. So berichtete z. B. Erich Bagge im Sommer 1956 über eine interessante Rußlandreise.

Das Ergebnis aller dieser Informationen zeigte sich in den ersten Plänen. Man war sich darüber einig, daß man zunächst einmal etwas für Ausbildung und Forschung tun mußte. Die Vorstellungen, wie das zu geschehen hätte, gingen allerdings bald weit auseinander. Die Fachkommission II, die für die Forschung zuständig war, tagte unter Leitung des Physikers Wolfgang Riezler in Bonn. Sie stieß ebenso wie die Fachkommission III, die unter Karl Winnakker für die technische Konzeption zuständig war, auf Verfahrens- und Zuständigkeitshürden.

Soweit es die Mitwirkung der Industrie und ihrer Forschungseinrichtungen betraf, gab es keine ernsten Schwierigkeiten. Die Industriellen in der Atomkommission übersahen die Erfordernisse ihrer eigenen Firmen und konnten auch für ihre Gebiete beurteilen, was geschehen konnte und mußte.

Selbstverständlich gab es auch hier Gegensätze. Chemie, Maschinenindustrie und Elektrotechnik hatten großes Interesse daran, eine neue Energiequelle zu schaffen und sich dabei auch technisch und wirtschaftlich zu betätigen. Die Repräsentanten der Elektrizitätsversorgung mußten darauf achten, daß ihnen nicht allzu früh eine noch zu teure Energieerzeugung zugemutet wurde, die ihnen kommerziellen Schaden zufügen konnte. In dem liberalen deutschen Wirtschaftssystem ließen sich solche Probleme aber mühelos lösen.

Sehr viel problematischer war die notwendige Gestaltung eines auf die Kernenergie ausgerichteten Ausbildungswesens und die Festlegung von Forschungsaufgaben, die der Kerntechnik dienten. Minister und Atomkommission waren sich keinen Augenblick darüber im unklaren, daß dies zumindest in den ersten Jahren die Hauptaufgabe war. Doch die Kompetenz für Bildung und Wissenschaft lag bei den Bundesländern. Nur das Verteidigungsministerium hatte einen eigenen Forschungsetat. Den übrigen Ministern standen demgegenüber lediglich bescheidene Mittel für gewisse Sonderaufgaben zur Verfügung. Die Schöpfer der neuen Verfassung hatten ausdrücklich keinen Bundeskultusminister vorgesehen. Deshalb besaß z. B. der Bund auf das Schulwesen überhaupt

keinen Einfluß. Die Bundesländer hatten zur Betreuung der Universitäten und Forschungsgesellschaften das Königsteiner Abkommen getroffen. Die Bundesregierung hatte in den entsprechenden Verwaltungsgremien nur eine beratende Stimme. Erst in dem Maße, in dem der Bund den Ländern entsprechend ihren Hilfeersuchen Zuschüsse gab, erhielt er auch Stimmrecht.

Spannungen zwischen Wirtschaft und Wissenschaft

Die Universitäten und Forschungsgesellschaften, besonders die Max-Planck-Gesellschaft, waren mit diesem liberal gehandhabten System zufrieden. Nur fehlte es in den ersten Jahren ständig an Geld. Als nun für die Kernenergie Mittel zur Verfügung gestellt werden sollten, befürchtete man, daß solche Gelder auf Kosten der bisher geförderten Institute freigemacht würden. Da die Anfänge der Kerntechnik auf das Göttinger Institut von Werner Heisenberg zurückgingen, bestand dort auch ein gewisser Anspruch. Auch wurde mit viel Skepsis unter den Wissenschaftlern diskutiert, ob nicht jetzt von Staat und Industrie doch im geheimen eine Atomaufrüstung vorbereitet würde. Bei aller Freundschaft und Verbundenheit, die zwischen Wirtschaft und Wissenschaft gerade in Deutschland immer bestanden hat – die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft war ursprünglich eine rein industrielle Stiftung –, gibt es doch immer Spannungen, wenn der Wissenschaftler seine Ergebnisse der wirtschaftlichen Nutzung preisgeben soll.

Diese Schwierigkeiten haben die Atomkommission lange Zeit beschäftigt. Sie wurden aber überwunden, als man allmählich auf allen Seiten die Notwendigkeit neu zu schaffender Kernforschungszentren einsah und für die übrigen Organisationen, vor allem für die Max-Planck-Institute, zusätzlich umfangreiche Mittel flossen. – Erst als Bundesminister Siegfried Balke sich aufgrund der guten Erfahrungen darum bemühte, seine Bundeskompetenz auf die anderen Organisationen der Forschung zu erweitern, gab es Unzufriedenheit. Für einen solchen Schritt war es damals einfach noch zu früh. Balke mußte 1961 dem Druck der Bundesländer weichen und zurücktreten, was alle mit der Kernenergie verbundenen Kreise sehr bedauerten.

Das »500-Megawatt-Programm«

Aber soweit war es noch nicht, als Balke 1958 zusammen mit dem noch einmal überprüften Atomgesetz dem Bundestag auch das erste deutsche Atomprogramm vorlegte – das sogenannte »500-Megawatt-Programm«.

Diese erste Zwischenstufe einer deutschen Kernenergiekonzeption fand großes Interesse. Der Bundestag nahm das Programm zur Kenntnis und diskutierte darüber. Die Mittel, die dafür in den nächsten Jahren notwendig waren, mußten aber erst durch eine Vorlage der Bundesregierung innerhalb des Haushaltsplanes beantragt werden.

Bei dem seinerzeit geltenden Haushaltsrecht war das die schwierigste Hürde für die Atompolitik. Einen Ausgabenplan, der über mehrere Jahre lief, kannte man damals noch nicht. Eine mittelfristige Finanzplanung über vier Jahre entstand erst unter Finanzminister Strauß im Jahre 1967 während der großen Koalition. Vorher mußte über Projekte, die über drei bis vier Jahre liefen, immer wieder mit dem Finanzministerium geredet werden, um einigermaßen sicherzustellen, daß Jahr für Jahr die erforderlichen Gelder genehmigt wurden. Dafür mußten sogenannte Bindungsermächtigungen eingeholt werden. Die Atomkommission mußte viel lernen, was die Schwierigkeiten der Beschaffung und Verwendung von staatlichen Mitteln anging. Zu diesem Lernprozeß gehörte auch die Erfahrung, daß selbst nach Genehmigung des Etats das Finanzministerium jederzeit ein Vetorecht besaß.

Die schon bestehenden Organisationen, wie die Max-Planck-Gesellschaft, hatten im Laufe der Zeit Sondergenehmigungen erreicht. Dabei konnten Etatposten untereinander ausgetauscht werden. Aber die Kernenergie war etwas Neues. Alle Instanzen fühlten sich verpflichtet, auf sie besonders zu achten. Die vor wenigen Jahren gegründete Bundesrepublik Deutschland war noch sehr sparsam und vorsichtig bei der Inangriffnahme neuer Arbeitsgebiete, deren politische Entwicklung sie nicht übersehen konnte.

Warum das Atomforum entstand

Am 26. Mai 1959 wurde in Karlsruhe das Deutsche Atomforum gegründet. Damals ging es darum, für die junge Kernenergie Verständnis und Förderung in der breiten Öffentlichkeit zu finden. Mit dem ersten Atomprogramm war zwar die Linie vorgezeichnet, nach der sich die wissenschaftliche und technische Entwicklung vollziehen sollte. Doch nach der ersten Begeisterung war der Reiz des Neuen bald verblaßt.

Die allgemeine wirtschaftliche Situation in Deutschland hatte sich in vorher kaum für möglich gehaltenem Maß verbessert. Nur wenige machten sich Sorgen um eine ferne Zukunft. Der Wiederaufbau ging glänzend voran. Durch die Pariser Verträge war das Land zum erstenmal in die Gemeinschaft der westlichen Welt eingefügt. NATO, EWG und Euratom schufen ein politisches Umfeld, in dem für Deutschland nun ein ehrenvoller Platz und eine feste Aufgabe gesichert waren. Nirgendwo herrschte eine ähnliche Begeisterung für europäische und internationale Gedanken wie in der Bundesrepublik Deutschland, zumal sie selbst politisch und historisch des Glanzes entbehrte. Wirtschaftlich aber befand sie sich in einer Phase ungewöhnlicher Aktivität und begann jene internationale Expansion, die man später oft so wenig realistisch als das »deutsche Wirtschaftswunder« bezeichnete.

In einer solchen Zeit schien es nicht so einfach, bei der Bevölkerung Verständnis dafür zu erwecken, daß Milliarden für etwas aufgebracht werden sollten, das schreckliche Erinnerung heraufbeschwor und dessen ursächliche naturwissenschaftlichen Zusammenhänge Laien nur schwer verstehen konnten.

Keine Energiekrise am Horizont

Die Allgemeinheit ahnte wohl, daß die Kernenergie interessante wirtschaftliche Perspektiven bot, insbesondere im Hinblick auf die Energieerzeugung. Doch vorläufig gab es genug Energie aus den gewohnten Quellen. Eine Krise stand nicht am Horizont.

Der Zwang, deutsche Kohle ungeachtet einheimischer Bedürfnisse zu exportieren, hatte aufgehört. Neue Elektrizitätswerke

waren im Entstehen, die sich ausreichend auf traditionelle Primärenergie stützen konnten. Erdöl und Erdgas waren auch für Deutschland erschlossen und eröffneten eine industrielle Ära auf dieser neuen Grundlage. Warum sollte man in dieser so günstig scheinenden Situation nach weit entfernten Energiequellen suchen? Angesichts dieses verbreiteten Einwandes durfte das Interesse an der Kernenergie nicht auf die Kreise beschränkt bleiben, die in Regierungen, Wissenschaft und Wirtschaft die ersten Schritte ausgelöst hatten.

In der Zeit unmittelbar nach der ersten Genfer Atomkonferenz 1955 hatten sich verschiedene Förderorganisationen gebildet, die wertvolle Hilfe leisteten. Auf Initiative der Parlamentarier in Bonn wurde dort die Deutsche Gesellschaft für Atomenergie geschaffen. Zu ihr gehörten Mitglieder aller Parteien des Deutschen Bundestages, andere Politiker und weitere Persönlichkeiten des öffentlichen Lebens. Ihre Begründer waren der CDU-Abgeordnete Fürst Bismarck, der FDP-Abgeordnete Thomas Dehler, der gleichfalls inzwischen verstorbene SPD-Abgeordnete Heinrich-Wilhelm Ruhnke und der CSU-Abgeordnete Linus Memmel.

Diese Vereinigung am Ort der Regierung und des Parlamentes war besonders geeignet, auf deren Arbeit einzuwirken, soweit sie die Kernenergie betraf. Sie erhielt durch die Vermittlung der Bundestagsabgeordneten schnell wertvolle Verbindungen zum Haushaltsausschuß des Bundestages. Außerdem setzte der Bundestag einen Atomausschuß ein, zu dessen Mitgliedern Beziehungen aufgenommen wurden. Die Publizität und die persönlichen Kontakte dieser Deutschen Gesellschaft für Atomenergie erwiesen sich schon frühzeitig als wichtig und förderlich. Das galt besonders für den Zeitraum, im dem das deutsche Atomgesetz und die Strahlenschutzverordnung im Parlament vorbereitet und behandelt wurden.

Mit Sitz in München war durch die Initiative verschiedener Industrieller aus ganz Deutschland unter Führung des Konsuls Hermann Römer der Verein »Atome für den Frieden e.V.« entstanden. Er nahm von Süddeutschland aus eine publizistische Tätigkeit auf und bemühte sich um die allgemeine Aufklärung der Bevölke-

rung, um das Messewesen, um Ausstellungen und Publikationen, die dem Laien das für ihn so geheimnisvolle Gebiet des Atominneren verständlich machen sollten.

In Düsseldorf, am Sitz des Vereins Deutscher Ingenieure, hatte sich die »Arbeitsgemeinschaft für Kerntechnik« gebildet. Die Initiative dazu ging vom Verein Deutscher Ingenieure und vom Deutschen Verband Technisch-Wissenschaftlicher Vereine aus. In dieser Arbeitsgemeinschaft waren alle deutschen technischen und wissenschaftlichen Vereine zusammengeschlossen.

»Gründerzeit« der Kernenergie

In dem Maße, in dem die Beschäftigung mit Kernreaktoren und radioaktiven Strahlen sowie die Arbeiten mit Isotopen einen breiteren Mitarbeiterkreis erfaßten, fanden sich in diesen wissenschaftlichen Vereinen viele Interessenten zusammen, die das gemeinsame Anliegen fördern konnten. Diese naturwissenschaftlichen und technischen Vereine umfaßten zusammen weit mehr als 100000 Mitglieder, die nun alle als Interessenten in Frage kamen.

Schließlich bestand noch die Physikalische Studiengesellschaft mit Sitz in Düsseldorf. Sie war die Vereinigung von Industriellen, die ihre ursprüngliche Aufgabe, den Eigenbau des ersten deutschen Reaktors FR 2 an das mit ihrer finanziellen Beteiligung gegründete Kernforschungszentrum Karlsruhe abgegeben hatten und nun nach neuen Aktivitäten suchten.

Diese Mannigfaltigkeit der Interessen, die sich an dem Reiz des Fortschritts entzündete, war typisch für diese Gründerzeit. Sie spiegelte die damalige Situation wieder, in der jede Gelegenheit ergriffen wurde, etwas Neues in Angriff zu nehmen. Trotzdem waltete jene Vorsicht, die politisch im nationalen und internationalen Raum notwendig war.

Der Eifer bei der Gründung kerntechnischer Gesellschaften war in den Augen mancher Zweifler und Kritiker freilich nur ein Beispiel deutscher Vereinsmeierei. Er wurde auch im Ausland nicht so leicht verstanden. Es bedurfte langer Zeit, bis die Skeptiker er-

kannten, daß diese Art der Zusammenarbeit durchaus ihren Sinn hatte. Deutschland benötigte damals eben ganz andere Organisationsformen, die nur aus der einmaligen Situation zu begreifen waren.

Mehr Verständnis für die Naturwissenschaft

Je mehr es gelang, alle diese Bestrebungen in zweckmäßige Bahnen zu lenken, desto wertvoller erwiesen sich diese Zusammenschlüsse. Keiner konnte damals – und so ist es auch heute noch – genug tun, um Menschen für Initiativen, für nationale und internationale Interessen, besonders aber für die Förderung und das Verständnis naturwissenschaftlicher Tätigkeit zu gewinnen.

Die heutigen Bemühungen von Bürgerinitiativen haben leider oft zu viele eigennützige und negative Zielsetzungen. Sie könnten bei vielen Aspekten der Gestaltung unseres Zusammenlebens positiver wirken, wenn sie ihrer Arbeit mehr technische und naturwissenschaftliche Erkenntnisse zugrunde legten. Sachliche Informationen können auch durch noch so viel verbalen Aufwand nicht kompensiert werden.

Auf der Basis dieser Vorgeschichte entstand 1959 das »Deutsche Atomforum«.

Es bedurfte auch einer gewissen Großzügigkeit, unterschiedliche Zielsetzungen unter einem Dach zu vereinen. Die Interessen in den einzelnen Bundesländern waren verschieden. Es spielten aber auch Standesfragen, etwa die unterschiedlichen Probleme der Beamten, der freien Wissenschaftler und der Industriellen bei allen Überlegungen eine Rolle. Sogar der Sitz des Atomforums blieb zunächst noch offen. Endlich aber wurde man sich über den Zweck und das Ziel wenigstens in Umrissen einig.

Der erste Zusammenschluß war noch recht provisorisch. Die vier Vereinigungen, die global beitraten, behielten ihre Selbständigkeit. Der Vertrag war auch für jeden Partner mit einjähriger Frist kündbar. Das anfängliche Mißtrauen schwand aber schnell.

Als sich das Deutsche Atomforum ein Jahr später, im Mai 1960, bei seiner ersten öffentlichen Tagung in Bonn vor etwa 600 Zuhörern präsentierte, hatte man Grund unter den Füßen und konnte

einigermaßen selbstbewußt ein Arbeitsprogramm formulieren. Auch die Themen dieser ersten Tagung in der Beethovenhalle in Bonn waren recht repräsentativ, ebenso wie die Reihe der Redner, die der neue Präsident, Karl Winnacker, willkommen heißen konnte.

Gemeinsamkeit und Koordination

In Winnackers Begrüßungsrede wurde der in der Satzung niedergelegte Zweck des Forums erläutert. Man wollte folgendes erreichen:

a) Zusammenfassung und Förderung der auf dem Gebiet der friedlichen Verwendung der Atomenergie tätigen gemeinnützigen Vereinigungen in der Bundesrepublik; die Unterstützung ihrer Arbeiten zur Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnisse, zur Behandlung technisch-wissenschaftlicher Probleme und zur Verbreitung von Kenntnissen und Fachwissen; die Repräsentanz dieser Vereinigung auch gegenüber dem Ausland.

b) die Koordinierung der Aufgabengebiete und Tätigkeiten der im Deutschen Atomforum zusammengeschlossenen gemeinnützigen Vereinigungen.

Anschließend sprach Bundesminister Siegfried Balke, der zu der Gründung des Atomforums viel beigetragen hatte, in seinem Hauptreferat über das Thema: »Die Verwendung der Kernenergie in der Bundesrepublik«. Balkes sachverständige Ausführungen gaben einen Ausblick auf das erste Deutsche Atomprogramm, das soeben verabschiedet worden war.

Der Präsident der Europäischen Atomgemeinschaft, Etienne Hirsch aus Frankreich, behandelte die »Entwicklungsaussichten der Kernenergie«. Schließlich nahm Werner Heisenberg, Vizepräsident des Deutschen Atomforums, in einem vielbeachteten Vortrag Stellung zu dem Thema der Kernfusion unter dem Titel »Kernverschmelzung als Energiequelle«.

Als sich das Atomforum im Herbst des gleichen Jahres mit 800 Teilnehmern zur ersten technisch-wissenschaftlichen Tagung in

Karlsruhe versammelte, gab es schon Material für ein viertägiges Vortragsprogramm, das alle Bereiche der Kernenergie und ihrer Nutzung, soweit man sie damals übersah, umfaßte und in achtzig Vorträgen ausgebreitet wurde.

Universeller Charakter des Atomforums

Zu Beginn des Jahres 1961 erhielt das Deutsche Atomforum seine endgültige Form. Die vier Gründungsgesellschaften gaben ihre Selbständigkeit auf. Der Sitz des Vereins wurde nach Bonn verlegt. Es wurde ein Präsidium gebildet, in dem die Repräsentanten der vier Parteien des Bundestags sowie Wissenschaftler und Industrielle paritätisch vertreten waren. Ein Verwaltungsrat entstand, der in seiner Zusammensetzung gleichfalls den universellen Charakter des Atomforums verdeutlichen sollte.

Das Forum blieb offen für den Anschluß weiterer ähnlicher Vereinigungen. Es assoziiert sich später die Studiengesellschaft zur Förderung der Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt in Hamburg und die Isotopen-Studiengesellschaft in Frankfurt.

Die Arbeit, die früher auf die vier Gründungsgesellschaften verteilt gewesen war, wurde nun in sechs Arbeitskreisen zusammengefaßt, die zunächst jeweils acht bis zehn Mitglieder zählten. Es waren dies

Arbeitskreis I	Wissenschaft und Technik
Arbeitskreis II	Öffentlichkeitsarbeit und Presse
Arbeitskreis III	Recht und Verwaltung
Arbeitskreis IV	Wirtschaft und Industrie
Arbeitskreis V	Auslandsbeziehungen
Arbeitskreis VI	Messe- und Ausstellungswesen.

Diese Arbeitskreise änderten im weiteren Verlauf hin und wieder ihren Namen und ihre Aufgaben und stimmten ihre Interessen aufeinander ab. Außerdem wurden Arbeitsgruppen und Ad hoc-Ausschüsse gegründet, die sich mit speziellen oder akuten Tagesfragen beschäftigten. Es war der Grundsatz des Atomforums, allen Mitgliedern eigene Initiativen zu ermöglichen. Sie konnten sich

auch zu örtlichen und speziellen Vereinigungen zusammenschließen. Es mußte nur im Präsidium und Verwaltungsrat darauf geachtet werden, daß sich der gemeinsame Aspekt der Förderung der Kernenergie nicht in Sonderinteressen auflöste. Immer wieder mußte man sich zueinanderfinden und daran erinnern, daß eine große gemeinsame Aufgabe bestand.

Weder Tabus noch Geheimnisse

Die lose Form der Zusammenarbeit, die aber doch eine einmütige Zielsetzung besaß, hat sich mit wenigen Änderungen bis heute erhalten und gut bewährt. Das Wichtigste war wohl, daß das Deutsche Atomforum für alle offen blieb und daß in seinem Rahmen ohne parteipolitische oder privatwirtschaftliche Bindungen über alles gesprochen werden konnte, was das weitreichende Arbeitsgebiet mit sich brachte.

Es war wichtig, daß sich niemand ausgeschlossen fühlte und es auch kein Tabu oder Geheimnis in der Behandlung der Themen gab. Sehr bald gehörten zu den Mitgliedern, außer Firmen und Einzelpersonen, auch Vertreter öffentlicher Körperschaften, der Bundesministerien und Bundesbehörden, der Landesministerien und deren Behörden. Es traten Industrieunternehmen bei, die im wesentlichen durch Spenden und Beiträge die erforderlichen Geldmittel aufbrachten, sowie die wissenschaftlichen Gesellschaften.

Als die Zahl der Einzelmitglieder im Bereich der Naturwissenschaftler und Techniker sehr groß wurde, schlossen sich viele von ihnen mit bisher außenstehenden Personen zur Kerntechnischen Gesellschaft zusammen. In den Kernforschungszentren, in Behörden und den Entwicklungsstäben der Wirtschaft kamen ganz automatisch Naturwissenschaftler und Techniker der verschiedensten Disziplinen zusammen, zu denen sich auch Volkswirtschaftler und Juristen gesellten.

Öffentlichkeitsarbeit auf vielen Ebenen

Hauptaufgabe des Deutschen Atomforums war die Förderung der Kernenergie im Bewußtsein der Öffentlichkeit. Es mußte eine für die breite Bevölkerung geeignete Publizistik treiben und mit der Presse intensiv Verbindung halten. Die Geschäftsstelle in Bonn widmete sich mit großem Erfolg dieser Aufgabe, wobei ihr der entsprechende Arbeitskreis des Atomforums Anregungen gab.

Zunächst galt es, Literatur zu schaffen, die gemeinverständlich war, um die Öffentlichkeit über Möglichkeiten und Verfahren der Kernenergie aufzuklären. Das Atomforum hat in großen Schriftreihen solche Literatur erarbeitet und Filme produziert, die auch Laien vorgeführt werden können. Schließlich schuf es mit seinem Arbeitskreis für Messe- und Ausstellungswesen Wanderausstellungen, die mobil waren und mit leicht verständlichen Modellen der Bevölkerung die Probleme der Kernenergie erläuterten. Solche Darbietungen wurden vor allem dann notwendig, wenn an einem in Aussicht genommenen Standort für ein Kernkraftwerk Unklarheiten über die Pläne entstanden, um Vorurteilen oder auch radikaler Agitation von Extremisten zu begegnen.

Eine bedeutende Aufgabe war selbstverständlich der Verkehr mit der Presse. Aufgeschlossene Verlage gründeten Zeitschriften, so die »atomwirtschaft-atomtechnik (atw)«, die im Verlag Handelsblatt entstand. Journalisten wie Wolfgang D. Müller und Robert Gerwin erwarben sich große Verdienste. Es hieß, ständig Mitteilungen an die Presse zu geben. In Bonn und anderen Städten wurden regelmäßig Pressekonferenzen abgehalten, in denen sich Mitglieder der Verwaltungsorgane und die Geschäftsführer des Atomforums der Öffentlichkeit zur Verfügung stellten. Es mußten Interviews gegeben sowie Aufsätze und Veröffentlichungen geschrieben werden.

Im Laufe der Zeit gelangte die Presse zu einer recht sachlichen Berichterstattung. Ohne sie wäre die gesamte Arbeit für die Kernenergie, besonders auch die Beschaffung der staatlichen Mittel, gar nicht möglich gewesen. Wenn die Sachverständigen mit der Presse hierbei nicht immer einer Meinung waren, so hat das der Sache nicht geschadet. Es ist schließlich nicht ganz leicht, naturwissen-

schaftliche und technische Probleme auf einem so diffizilen Gebiet dem gebildeten Laien auseinanderzusetzen. Das Deutsche Atomforum mußte, wenn es sich wirklich als öffentliches Gewissen betrachten wollte, gerade diese Pressearbeit außerordentlich pflegen und ihr mit großer Sorgfalt nachgehen.

Der Karl-Winnacker-Preis

Beim Ausscheiden des ersten Präsidenten, Karl Winnacker, stiftete das Atomforum einen Preis, den »Karl-Winnacker-Preis«. In der Verleihungsurkunde wurde bestimmt, daß damit Journalisten und Publizisten ausgezeichnet werden sollen, die sich in Presse, Rundfunk oder in sonstiger Art der Berichterstattung für die Kernenergie besonders eingesetzt hatten.

Der Preis wurde bei der Mitgliederversammlung im Dezember 1973 zum erstenmal verliehen, und zwar an Wilhelm Throm, einen inzwischen verstorbenen Redakteur der »Frankfurter Allgemeinen Zeitung«. Throm hat sich besonders verständlich, sachverständig und regelmäßig zum Thema Energiewirtschaft und speziell über die Kernenergie geäußert. Er hat dadurch der gemeinsamen Arbeit wertvolle Dienste geleistet.

Atomforum bei der »Achema«

Ein anderer Arbeitsbereich des Atomforums war das Messe- und Ausstellungswesen. Nach den ersten bescheidenen Anfängen mit einer Wanderausstellung mußte das Atomforum zu größeren Veranstaltungen übergehen.

Der erste Versuch solcher Art fand 1961 gelegentlich der Achema statt. Die Dechema, die Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen, veranstaltet in regelmäßigem Turnus von drei Jahren eine internationale Ausstellungstagung unter dem Namen Achema, die breite internationale Wirkung hat. Zu diesem Treffen kommen Zehntausende von Technikern und Naturwissenschaftlern aus aller Welt, so daß es eine besonders geeignete Plattform für die Darstellung technischer Probleme ist.

Dort, bei der Achema, trat das Deutsche Atomforum zum er-

stenmal mit einem kleinen Ausstellungsstand in Erscheinung, der sich später stets vergrößerte und inzwischen im Rahmen der jeweiligen Achema einen festen Platz hat. Zugleich hält das Deutsche Atomforum während der Woche der Achema einen »Tag des Deutschen Atomforums« ab. Diese Vortragsveranstaltung ist inzwischen zu einer festen Einrichtung geworden.

Zu einer eigenen Atommesse oder Kernenergieausstellung ist es in Deutschland nicht gekommen. Das war auch nicht beabsichtigt. Die deutsche Reaktorindustrie, die den Anstoß dazu hätte liefern müssen, zog es vor, auf eine spezielle Ausstellung zu verzichten und statt dessen allgemeine Messen, so die Achema und die Industrieausstellung in Hannover, für ihre Zwecke zu nutzen.

Inzwischen hat sich mit der Nuclex in Basel eine solche internationale Atommesse eingeführt, die auch von der deutschen Industrie, sei es als Aussteller oder als Besucher, intensiv wahrgenommen wird. Auch das Deutsche Atomforum präsentiert sich in diesem Rahmen. Es war sicher richtig, eine solche Ausstellung im breiten internationalen Rahmen zu veranstalten und dazu ein neutrales Land zu wählen, wo die eigenen Interessen an einer aktiven Kernenergiepolitik nicht so im Vordergrund stehen.

Kontakte auf europäischer Ebene

Einen ersten Höhepunkt erreichte die Arbeit des Deutschen Atomforums mit dem Foratom-Kongreß in Frankfurt 1965. Bereits im Juli 1960, also kurz nach der Gründung des Deutschen Atomforums, war es in Paris zu einem europäischen Zusammenschluß aller damals bestehenden Atomforen gekommen, die schon in den meisten europäischen Ländern existierten, nachdem Amerika dazu das Vorbild gegeben hatte. Zu der Gründung von Foratom waren im Jahre 1960 die Bundesrepublik Deutschland, Belgien, Frankreich, Italien, Luxemburg, die Niederlande und die Schweiz zusammengetreten. 1962 schlossen sich Österreich, Portugal und Spanien, 1963 Norwegen und 1964 Großbritannien an.

Die Atomforen hatten in diesen europäischen Ländern eine andere Zusammensetzung als in der Bundesrepublik. Sie waren dort

ausschließlich Organisationen der Industrie, während die Wissenschaftler sich in getrennten Vereinigungen zusammenfanden. In den Ländern mit militärischen Interessen lag sowieso der Einfluß mehr in den Händen des Staates, so daß für Privatinitiativen zunächst wenig Raum blieb.

Dem Deutschen Atomforum, vornehmlich aber der darin vertretenen Wirtschaft, hat die Zusammenarbeit in der Foratom-Organisation manche Vorteile gebracht. Bald erwies sich dieses Atomforum als eine Art Kompensation gegenüber starren internationalen Institutionen wie Euratom. Sie brachte der deutschen Industrie Kontakte und Beziehungen zu den einschlägigen europäischen Partnern, wie sie die deutsche Wirtschaft damals dringend brauchte.

Auch die Elektrizitätsversorgungsunternehmen kamen innerhalb der Foratom-Veranstaltungen zusammen. Besonders wichtig war das in Ländern wie Frankreich und England, wo starke und gut organisierte Atomkommissionen die Entwicklung fest in der Hand hatten. Dort hatte die Industrie wenig Zugang zur Kerntechnik, zumal die gemeinsame Arbeit im wesentlichen auch militärischen Charakter hatte und die Energiewirtschaft staatlich war.

Foratom in Frankfurt

Im Jahre 1965 fand der zweite Foratom-Kongreß in Frankfurt statt. Er war für die damaligen Verhältnisse ein großer internationaler Erfolg. Es kamen rund tausend Fachleute aus zwanzig Ländern in Frankfurt zusammen. Der Kongreß dauerte drei Tage. Es wurden viele wertvolle Vorträge gehalten. Bei einem Bankett in der Jahrhunderthalle der Farbwerke Hoechst stand noch einmal der 86jährige Otto Hahn im Mittelpunkt. Nach Abschluß der offiziellen Rede hieß er nach dem Essen in einer launigen Ansprache die internationalen Gäste in Deutschland willkommen.

Auf Anregung der Gesellschaft Deutscher Chemiker stifteten die im Deutschen Zentralausschuß für Chemie zusammengeschlossenen Organisationen und der Verband Deutscher Physikalischer Gesellschaften – die heutige Deutsche Physikalische Gesellschaft – im Juni 1955 einen »Otto-Hahn-Preis für Chemie und

Physik«, der im gleichen Jahr zum ersten Male an Lise Meitner und Heinrich Wieland verliehen wurde.

Dieser Preis erhielt in Deutschland einen hohen Rang. Er wird für einmalige Verdienste um die Entwicklung der Chemie und Physik zuerkannt.

Am 8. März 1969, dem 90. Geburtstag ihres wenige Monate zuvor verstorbenen Ehrenbürgers Otto Hahn, stiftete seine Heimatstadt den »Otto-Hahn-Preis der Stadt Frankfurt am Main«. Mit ihm werden junge Wissenschaftler ausgezeichnet, die wesentliche Leistungen im Wissensgebiet Otto Hahns erbrachten, oder Persönlichkeiten, die sich mit Erfolg um die friedliche Verwendung der Kernenergie verdient gemacht haben.

Am 8. März 1970 wurde der Preis erstmals an den Berliner Strahlenmediziner Karl zum Winkel verliehen.

Im Jahre 1964 hatte in Genf die dritte Internationale Atomkonferenz stattgefunden. Man hatte Rückblick gehalten auf eine weiträumige internationale Zusammenarbeit und darüber diskutiert, daß nun die Kernenergie in ein erstes wirtschaftliches Stadium eingetreten war. Es wurden zwar auch dieses Mal in Genf von deutscher Seite keine grundsätzlichen neuen Fortschritte gezeigt, aber die deutsche Industrie war nun dabei und konnte zum erstenmal eigene Entwicklungen präsentieren. Kernkraftwerke hatten sich international und kommerziell durchgesetzt.

Werbung für das Zweite Atomprogramm

Deutschland hatte sein Zweites Atomprogramm aufgestellt, das vom Ministerium mit der Atomkommission unter Mitwirkung des Atomforums erarbeitet worden war. Dafür mußte nun geworben werden. Die Widerstände bei vielen Parlamentariern in Bonn waren nicht gering. Die im Präsidium des Atomforums vertretenen Bundestagsabgeordneten mußten helfen, diese Widerstände zu überwinden. Das Atomforum warb für das Atomprogramm in Parlamentarischen Abenden, zu denen die Bundestagsabgeordneten gern kamen. Hier bemühte sich das Forum immer wieder, die Parlamentarier zu überzeugen, daß für die Kernenergieentwicklung nachhaltig große Mittel zur Verfügung gestellt werden mußten.

Als die ersten Kernkraftwerke bestellt und errichtet wurden, gab es industrielle Probleme, die neue Aufgaben nach sich zogen. Die Fragen der Gewerbehoheit der Länder und der Genehmigungsverfahren traten in den Vordergrund. Das Atomforum konnte mit seinen vielfältigen Interessenkreisen dazu beitragen, daß es über Genehmigungsverfahren, Standortauswahl und alles, was damit zusammenhing, zu gemeinsamen Aussprachen kam.

Die Kraftwerksgesellschaften, die ihre ersten Kernkraftwerke in Betrieb genommen hatten, schlossen sich zu einem sogenannten ABE-Ausschuß (Ausschuß zum Austausch von Betriebserfahrungen) zusammen. Sie informierten sich gegenseitig über ihre Sorgen und Bemühungen sowie über Erfahrungen im ständigen Verkehr mit den Sicherheitsbehörden. Vor allem aber konnten sie sich auch der Öffentlichkeit zur Diskussion stellen.

Nüchtern und offen darüber reden

Von diesem Kreis ging auch die Initiative zur Ausbildung eigener Kraftwerksingenieure aus. Sie wurde dann im Rahmen des Atomforums in Angriff genommen. Dabei stellte sich heraus, wie wertvoll sachliche Information der Öffentlichkeit für die Kerntechnik war. Wann immer in einem Kernkraftwerk der kleinste Unfall oder eine minimale Störung auftraten, die meistens mit der eigentlichen Kernenergie nichts zu tun hatten, beunruhigte das die Bevölkerung. Bei Informationsabenden wurde klar, wie empfänglich die Öffentlichkeit ist, wenn ihr nüchtern und ehrlich die Wahrheit gesagt wird.

Die Bemühungen um eine richtige Beurteilung der Gefahren und der Sicherheit bei kerntechnischen Einrichtungen sind inzwischen längst zu einem zentralen Arbeitsgebiet des Atomforums geworden. Auf seine Anregung entstand 1972 der »Kerntechnische Ausschuß«. Sein erster Vorsitzender wurde der jetzige Präsident des Atomforums, Heinrich Mandel, Mitglied des Vorstandes des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE).

Das Zusammenwirken mit dem Atomministerium war viele Jahre lang unproblematisch und ausschließlich auf die Kernenergie ausgerichtet. Der Minister hatte speziell diese eine Aufgabe und

war mit seiner verhältnismäßig geringen Zahl von Mitarbeitern durchaus zur offenen Zusammenarbeit mit dem Atomforum bereit.

Sachverständige besaß dieses Ministerium in ausreichendem Maße in der Deutschen Atomkommission und in deren Arbeitskreisen sowie in den heranwachsenden Kernforschungszentren. Alle zusammen aber hatten ähnliche Interessen in ihrem Verhältnis zum Ausland und in den internationalen Organisationen. Sie hatten auch die gleichen Anliegen gegenüber Presse und Öffentlichkeit, so daß sie ihre Nachrichten- und Informationspolitik gerne gemeinsam betrieben.

Dieser Gleichklang in Arbeit und Zielsetzung hat dem gemeinsamen Ziel und der deutschen Kernenergie sehr geholfen. Die offene Darlegung aller Aktivitäten verhinderte, daß Dinge geschahen, die das Mißtrauen der Öffentlichkeit hätten wachrufen können. Die freimütige Information über alle Ereignisse und Überlegungen war und blieb das Grundprinzip der deutschen Atompolitik.

Die Wissenschaftspolitik wandelt sich

Die Einheitlichkeit der Orientierung und Zielsetzung lockerte sich in dem Maße, wie das Bundesministerium für Atomfragen andere Arbeitsgebiete übernehmen mußte und seine Kompetenzen auf andere Bereiche von Bildung und Forschung erweiterte. Nachdem das Ministerium vorübergehend die Wasserwirtschaft übernommen hatte, kam im Jahre 1961 der Bereich der Weltraumforschung und der Raumfahrttechnik hinzu. Das war der Beginn einer grundsätzlichen Erweiterung des Ministeriums mit einer Diversifikation auf andere technische Arbeitsgebiete. Von diesem Augenblick an entstanden in dem Ministerium neue Interessen und Abteilungen, die ihrem Arbeitsgebiet nach nicht mehr mit der Deutschen Atomkommission und dem Deutschen Atomforum zusammenfielen. Es mußten deswegen vom Ministerium auch neue Formen des Beratungswesens für diese Gebiete gefunden werden. Es entstand eine Weltraumkommission, die aber in Umfang und Bedeutung mit der deutschen Atomkommission nicht vergleichbar

war. Ihre Aufgaben und Mittel waren wesentlich bescheidener. Von vornherein war zu sehen, daß die deutschen Beiträge auf diesem Sektor nur sehr klein sein konnten.

Im Jahre 1962 trat der FDP-Politiker Hans Lenz an die Stelle von Siegfried Balke. Das Ministerium erhielt jetzt den Namen Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung. 1965 übernahm Gerhard Stoltenberg (CDU) dieses Ministerium. Der Bund hatte nun trotz aller Widerstände im Verhältnis zu den Ländern eine viel weiterreichende Kompetenz, da er in steigendem Maße zur Finanzierung beitrug und dafür auch Rechte in Anspruch nahm. Die Bundesregierung wurde Partner im Königsteiner Abkommen und somit zuständig für die Universitäten, für die Max-Planck-Gesellschaft und die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

Datenverarbeitung rückt ins Blickfeld

Neu hinzugekommen war inzwischen auch das Feld der Datenverarbeitung, ein weltweites Arbeits- und Forschungsgebiet, dessen Bedeutung in Deutschland nicht rechtzeitig erkannt wurde. Obwohl von Konrad Zuse in Deutschland die grundsätzlichen Gedanken für elektronische Rechenanlagen entwickelt worden waren, die 1941 zu dem historischen Modell Z 3 führten, sah sich die Bundesrepublik Deutschland in der Datenverarbeitung zunächst einer hoffnungslosen Überlegenheit der Vereinigten Staaten von Amerika gegenüber. Dort war im Rahmen der militärischen Erfordernisse, vor allem der Raketentechnik und der Raumfahrt, ein großes Potential geschaffen worden, das mühelos auch für andere Zwecke zur Verfügung stand und die Welt mit seinen Erfahrungen überschwemmte.

Von 1966 an setzte sich auch in Deutschland die Erkenntnis durch, daß man die Fortschritte der Datenverarbeitung nicht ignorieren konnte. Man durfte sich nicht darauf beschränken, etwa die Maschinen für das Rechnungswesen und dessen Datenverarbeitung allein aus dem Ausland zu beziehen. Auch die Forschung, besonders in den Kernforschungszentren, benötigte große Datenverarbeitungsanlagen. Sie mußten nun mit Bundeshilfe entwickelt werden.

Beim Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung wurde ein Fachbeirat für Datenverarbeitung geschaffen. Sein Aufgabengebiet stellte allerdings ganz andere Anforderungen als die Kernenergie. Das Atomforum hat immer wieder darüber diskutiert, ob es seinerseits größere und zusätzliche Aufgaben übernehmen sollte. Rückblickend war es eine kluge Selbstbeschränkung, daß es seine Arbeit ausschließlich auf die Kernenergie konzentrierte. Ihre Probleme waren groß und speziell genug, um einen weiten Kreis von Interessenten auf diesem Gebiet zusammenzuschließen.

Breitgefächerte Interessen

Das so erweiterte Bundesministerium hatte auch den Auftrag, die Forschung innerhalb der verschiedenen Bundesressorts zu koordinieren. Dies schien zunächst geringere Bedeutung zu haben, nahm aber dann insofern immer mehr an Umfang zu, als auch eine Übersicht über die militärische Forschung geschaffen werden sollte. Jetzt war die Kernenergie nur noch ein Teil des gesamten Arbeitsgebietes im Ministerium. Damit waren die Interessen dort nun breiter gefächert, wenn auch der größte Teil des Etats vorerst weiterhin der Kernenergie zufließen mußte. Um so mehr wuchs in dieser Zeit die Verantwortung des Atomforums.

Es mußte dafür Sorge getragen werden, daß die Kernenergie von der Fülle anderer Aufgaben nicht überdeckt wurde, sondern ihre Bedeutung in der Einschätzung durch die Behörden uneingeschränkt behielt.

Um überhaupt ein Beratungsgremium für alle diese neuen und alten Aufgaben zu haben, berief Bundesminister Stoltenberg im Jahre 1967 einen Beratenden Ausschuß für Forschungspolitik (BAF). In diesem BAF wirkten die Präsidenten der vier Forschungsgremien, d.h. der Max-Planck-Gesellschaft, der Deutschen Forschungsgemeinschaft, des Wissenschaftsrates und der Rektorenkonferenz sowie die Präsidenten der Beratungskommissionen mit. Dieser Ausschuß bestand nach dem Regierungswechsel von 1969 nur noch ein Jahr.

Richtungslose Bildungspolitik

Die Bildung dieses Ausschusses, in dem das Atomforum durch seinen Präsidenten vertreten war, rief einiges Interesse hervor. Die Öffentlichkeit erwartete und befürchtete von seiner Initiative mehr, als diese »protestantische Mafia«, wie sie der »Spiegel« nannte, bringen konnte, wenn sie auch die Konzeptionslosigkeit, in welche unser Bildungs- und Forschungswesen hineinsteuerte, besserte.

In diesem Kreise, in dem Menschen aus Geisteswissenschaft, Naturwissenschaft und Technik beisammen waren, wurde über die aktuellen Probleme sehr offen und fundiert diskutiert. Es war aber schon zu spüren, daß eine neue Zeit anbrach. In der Bundesrepublik war ein hohes Maß an Wohlstand und Gleichgewicht erreicht. Da die Außenpolitik stagnierte und weder in Europa noch in der übrigen Welt sonderliche Fortschritte machte, kamen nun Zweifel auf, ob Staat und Gesellschaft den richtigen Zielen zustrebten. Die große Koalition in Bonn war offensichtlich auch nur ein Übergang. So trat die Frage nach der zukünftigen Gestaltung der Macht im Staate in den Vordergrund. In diesem Zusammenhang stellten Bildungs- und Forschungswesen ein willkommenes Terrain für Diskussionen dar.

Rivalität zwischen Bund und Ländern

Schon damals war sichtbar, daß die Bundesregierung, d.h. ihre Ressorts und deren Beamten, ihren Einfluß vermehren wollte. Es gab zudem die Rivalität zwischen Bund und Ländern. Diese unterschieden sich in ihrer politischen Richtung voneinander und hatten zudem auch nicht genug Geldmittel, um Schulen, Universitäten und das Forschungswesen so zu fördern, wie es notwendig war. Es hätte einer grundsätzlichen Finanzreform bedurft, um dieses föderalistische System in der alten Form bestehen zu lassen. Vor diesem Hintergrund war das Bemühen des Bundes zu sehen, die kulturelle Enwicklung zu zentralisieren. Im Sommer 1969 wurde durch einen Beschluß des Bundestages dem Wissenschaftsministerium unter Stoltenberg eine Bundeskompetenz in Universitätsfra-

gen zugesprochen. Ihm wurde der Auftrag erteilt, ein Hochschulrahmengesetz zu erlassen. Es ist allerdings bis heute noch nicht zustande gekommen.

Im Beratenden Ausschuß entstand ein Arbeitspapier, das der Einfachheit halber »Macht und Verstand« genannt wurde. Hierin kamen alle Strömungen zu Wort, die das Bildungswesen von nun an verunsichern sollten. Systematiker arbeiteten Pläne aus, wie man zwischen den wissenschaftlichen Forschungsgebieten Prioritäten setzen könnte. Die Geisteswissenschaftler stellten die Frage nach der Zukunft und der Grenze menschlichen Fortschritts. Man hatte in dieser Zeit leider wenig Sinn für praktische und pragmatische Lösungen. In Wirklichkeit hatte der Kampf um die Macht im Staate begonnen. An den Universitäten zeichneten sich die ersten Unruhen ab, und auch in den großen Forschungsstätten regte sich der Wunsch nach Mitwirkung von unten und die Kritik am Bestehenden.

Die Übernahme der Regierung durch Willy Brandt im Jahre 1969 hat frühere Entwicklungen jäh unterbrochen und eine langwährende Periode ständigen Wechsels eingeleitet. Im Verlauf dauernder – manchmal recht problematischer – Änderungen in der Forschungspolitik hat das Deutsche Atomforum seine zentrale Bedeutung für die Förderung der Kernenergie mehr noch als bisher erkennen und ihr gerecht werden müssen. Es ist jetzt die einzige Institution, die sowohl für Wirtschaft als auch Staat, vor allen Dingen aber für die vielen Wissenschaftler und die in der Kernenergie tätigen Menschen, ein Gesprächspartner für das gesamte Arbeitsgebiet ist. Es sollte diese so wichtige Rolle unter allen Umständen behalten.

Kapitel 5
Start mit Natururan und Schwerem Wasser

Marktfrauen in Kopftüchern und blauen Schürzen bildeten ein überraschend farbiges Spalier, als die Teilnehmer der feierlichen Gründungssitzung der Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft am 19. Juli 1956 in die Karlsruher Stadthalle kamen. Die Marktfrauen, dazu Gärtner und Bauern, argwöhnten, der am Rande der Stadt geplante Reaktor könne Boden und Luft dieses vorwiegend dem Gemüseanbau dienenden Gebietes verseuchen. »Wir protestieren«, stand auf den mitgeführten Schildern.

An Protesten gegen die Kernenergie sollte es in den nächsten Monaten und Jahren keinen Mangel geben. Auf der anderen Seite waren an jenem Gründungstag schon viele der erwarteten und unerwarteten Hindernisse aus dem Wege geräumt, die sich vor diesem ersten Schritt in das Neuland der Kernenergie aufgetürmt hatten. Nach der ersten Begeisterung, die die Genfer Konferenz 1955 ausgelöst hatte, war bald klargeworden, wie viele kleine und große Schwierigkeiten zu überwinden waren, um das rechtlich, wirtschaftlich und wissenschaftlich in gleicher Weise komplizierte Gebiet der Atomtechnik in das Gefüge der jungen Bundesrepublik Deutschland einzubauen.

Unter den Reaktor-Projekten, die im Anschluß an die Atomkonferenz in Genf erwogen wurden, waren jene der Göttinger Gruppe von Werner Heisenberg und Karl Wirtz am weitesten fortgeschritten. Durch Vermittlung der Bundesregierung war es schon 1954 zur Gründung der Physikalischen Studiengesellschaft gekommen, in der 16 Industriefirmen sich zur Realisierung der Göttinger Baupläne zusammengeschlossen hatten. Unter dem Eindruck der Geschehnisse in Genf wurden diese Pläne, deren Beginn schon einige Jahre zurücklag, erneut überprüft.

Die Genfer Konferenz von 1955 hatte gezeigt, wie weit die Entwicklung der Kernreaktoren fortgeschritten war, die nicht mehr Natururan, sondern angereichertes Uran verwandten. So kamen auch Zweifel auf, ob die konservativen Wege der Engländer und Kanadier und anderer Länder, die an der Verwendung von Natururan festhielten, überhaupt noch sinnvoll waren.

Schließlich aber wurde beschlossen, für den Bau dieses ersten deutschen Reaktors beim Natururan zu bleiben. Dafür sprachen in erster Linie die akuten Schwierigkeiten, die damals bei der Beschaffung von angereichertem Uran überwunden werden mußten.

Zwölf Kilo Uran reichen nicht

Die Bundesregierung hatte schon 1955 Verhandlungen mit der amerikanischen Atomenergiekommission aufgenommen. Sie versuchte, die Menge von zwölf Kilogramm Uran 235, die ihr in einem 1956 unterschriebenen Standard-Forschungsabkommen zugesprochen war, zu erhöhen.

Dieser erste Vertrag entsprach denjenigen, die damals auch etwa vierzig andere Nationen mit den USA abgeschlossen hatten. Das zu zwanzig Prozent angereicherte Uran konnte für sich allein oder mit einem fertigen Forschungsreaktor bezogen werden.

Jene zwölf Kilogramm Uran 235 genügten nicht für den Aufbau eines Leistungsreaktorprogramms zur Erzeugung von elektrischer Energie. Deshalb galt es, die Amerikaner dazu zu bewegen, größere Mengen zu liefern. Dies gelang erst im Sommer 1957. Von diesem Zeitpunkt an kam es zu einer grundsätzlichen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Leichtwasserreaktoren zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den USA.

Im Laufe der Verhandlungen wurden die Amerikaner sehr viel zugänglicher. Eine wesentliche Rolle spielte dabei der Besuch von Atomminister Franz Josef Strauß im Sommer 1956 in den USA. Er erläuterte den Amerikanern alle Einzelheiten der Überlegungen, die das erste Arbeitsprogramm betrafen. Man erkannte jenseits des Ozeans allmählich wohl, wie ernst die Angelegenheit in Deutschland genommen und mit welch beachtlichem wissenschaftlichen Potential an diese Arbeit herangegangen wurde. Diese Ver-

handlungen machten aber auch deutlich, daß eine Ausweitung der Zusammenarbeit, die nur mit Hilfe von bilateralen Verträgen möglich war, viele Jahre erfordern würde. So schien angesichts der Ungeduld, die eingetreten war, gar nichts anderes möglich, als in Karlsruhe beim Natururan zu bleiben.

Erstausstattung für Jülich

Noch bevor er in den USA gewesen war, hatte Franz Josef Strauß zusammen mit Karl Wirtz eine Reise nach England unternommen, um dort die kerntechnischen Anlagen kennenzulernen. Die Engländer hatten ihre graphitmoderierten Leistungsreaktoren vor allem mit dem Ziel entwickelt, in ihnen Plutonium für militärische Zwecke zu erzeugen. Im Oktober 1956 war der erste Calder-Hall-Reaktor in Anwesenheit von Königin Elisabeth in Betrieb genommen worden. Er besaß eine Leistung von 40 Megawatt.

Zur gleichen Zeit führte Staatssekretär Leo Brandt aus Nordrhein-Westfalen Verhandlungen mit den Engländern, die ebenfalls 1956 zu einem Forschungsreaktorabkommen zwischen der Bundesrepublik Deutschland und Großbritannien führten. Er kaufte einen Forschungsreaktor vom Typ DIDO und einen Schwimmbadreaktor des Typs MERLIN. Das war die Erstausstattung für die künftige Kernforschungsanlage Jülich. Ganz offensichtlich wollte das größte und reichste Land der Bundesrepublik auch in der Atomwirtschaft eine besondere Rolle spielen.

Es stellte sich dann für Karlsruhe die Frage, ob Graphit oder Schweres Wasser der geeignete Moderator sein würde. Selbstverständlich stand auch in Deutschland Graphit zur Verfügung, der den kerntechnischen Anforderungen entsprach. Solange nicht sicher war, ob Schweres Wasser in ausreichender Menge vorhanden sein würde, blieb ein Natururan-Reaktor mit Graphitmoderation und Luft- oder Wasserkühlung eine geeignete Alternative. Dank der bestehenden Forschungsreaktoren in den USA, in Kanada und in England, aber auch in Norwegen und Schweden, wußten die Techniker in Deutschland sehr genau, wie ein solcher Reaktor hätte aussehen müssen. Auf der ersten Genfer Konferenz, bei der

auch die Göttinger über ihre Graphitarbeiten berichtet hatten, kamen neue Erkenntnisse hinzu.

Der erste Entwurf eines Forschungsreaktors, der in Göttingen angefertigt wurde – der sogenannte FR 1 –, sah einen Natururan-Reaktor vor. Sein innerer Teil, das Core, war aus Natururan und Schwerem Wasser zusammengesetzt. Der äußere Teil, der Neutronenreflektor, bestand aus Graphit. Als während der Planungsarbeiten klar wurde, daß die Beschaffung von Schwerem Wasser schließlich doch möglich sein würde, folgte ein zweiter Entwurf, der FR 2. Bei ihm sollte Schweres Wasser den Graphitreflektor ersetzen. So konnte der Reaktor erheblich verbessert und vereinfacht werden. Es stand damit fest, daß der neue Reaktor Natururan als Kernbrennstoff und Schweres Wasser als Moderator verwenden sollte.

Entscheidung für den Eigenbau

Auch über die Frage, ob man den Karlsruher Reaktor selber bauen oder einen solchen kaufen sollte, wurde diskutiert. Wissenschaft und Industrie einigten sich gegen manche Widerstände in der Überzeugung, daß der Eigenbau viele Vorteile hatte. Er würde dadurch zugleich unabhängig machen von Genehmigungen beim Zukauf eines weiteren Reaktors, die Anfang 1956 immer noch fraglich waren. Schließlich entschied die Überlegung, daß man viel mehr dabei lernen konnte, wenn man – wie immer in der Technik – eine solche Konzeption, die so viele neue Erkenntnisse erforderte, von Grund auf selbst plante und auch ausführte. Es wurde damals oft ausgesprochen, daß ein solcher im Eigenbau errichteter Natururan-Reaktor auch dann noch seinen Zweck erfüllt hätte, wenn er nach seiner Fertigstellung in drei oder vier Jahren schon wieder »museumsreif« sein sollte.

Überdies konnte ein derartiger selbstgebauter Natururan-Reaktor sehr viel leichter die Bedenken zerstreuen, die sich im In- und Ausland damals noch regten, wenn über angereichertes Uran in deutscher Hand gesprochen wurde. Man muß sich immer wieder die deutsche Situation vergegenwärtigen: die Vorurteile gegen jede deutsche Aktivität auf dem Gebiet der Kerntechnik waren

auch nach Abschluß der Pariser Verträge im Jahre 1955 groß. Waren die Deutschen wirklich so friedlich geworden, wie es schien? Konnte man sich auf ihre Vertragstreue verlassen? Solche Fragen wurden damals im Ausland, vor allem in der Presse, nicht selten in wenig verhüllter Form gestellt.

Doch auch im Inland wurde jeder Schritt auf dem Atomgebiet kritisch beobachtet. Die öffentliche Meinung war ohnehin recht gespalten, was die – schon mit der Montanunion angebahnte – Integration in die westliche Welt anging. Vor- und Nachteile der mit den drei westlichen Alliierten abgeschlossenen Pariser Verträge waren umstritten. Erst recht erregten jene Erwägungen Argwohn, die eines Tages auch auf das Gebiet des Militärischen hätten hinüberspielen können.

Nur mühsam konnte die Öffentlichkeit davon überzeugt werden, daß dieser erste Schritt der Errichtung eines Natururan-Reaktors mit einigen Instituten, in denen an diesem Reaktor experimentiert werden konnte, der erfolgversprechendste und zugleich ein harmloser erster Schritt in dieses neue und ungewisse Arbeitsgebiet sein würde.

Wohin jedoch mit dem Reaktor?

Eine weitere schwerwiegende Frage war der Standort. Hier tauchte unvermittelt das prekäre Problem des von Konrad Adenauer stets sorgfältig beachteten Gleichgewichts zwischen den Bundesländern im Rahmen der deutschen Innenpolitik auf. Sie wollten sich am Aufbau der Kernenergie beteiligen und waren auch bereit, dafür erhebliche finanzielle Aufwendungen zu machen. Die in Göttingen tätige Reaktorplanungsgruppe sollte nach Möglichkeit mit dem Institut von Werner Heisenberg zusammenbleiben, da ja die Reaktorstation Mittelpunkt der einschlägigen Forschung, also der Neutronenphysik und der Kerntechnik, werden sollte.

Im Verlauf der Planung, an der inzwischen auch zahlreiche Ingenieure aus der Industrie teilnahmen, wurde ersichtlich, daß die Reaktorstation nicht nur eine Dependance eines Max-Planck-Instituts werden konnte. Der Umfang der Investitionen, die Not-

wendigkeit einer straff gegliederten technischen Arbeitsteilung und die Größe der dort zu erwartenden Belegschaft mit ihren technologischen Arbeitszielen zeigten, daß hier eine neue Form der Forschungsaktivität entwickelt werden mußte, die sich weit von der Grundlagenforschung wegbewegen würde.

Für Werner Heisenberg – seine Arbeitsmöglichkeiten in Göttingen waren bescheiden – bot München große Anziehung. Bayern lockte mit einem modernen Institut, das tatsächlich bald danach errichtet wurde. In nicht allzu großer Entfernung entstanden später der kleine Forschungsreaktor der Technischen Hochschule München sowie das Institut für Plasmaphysik in Garching, in dem heute die deutschen Arbeiten an der Kernfusion konzentriert sind. Es lag also durchaus nahe, die Reaktorstation für den FR 2 zumindest in der Nähe von München anzusiedeln. Um sich die Mitarbeit von Werner Heisenberg und seiner Gruppe zu sichern, waren alle Beteiligten mit diesem Standort einverstanden.

Adenauers innenpolitischer Kunstgriff

Zu einer Konferenz der Physikalischen Studiengesellschaft, welche die Vorbereitung des Reaktorbaus betrieb, erschien eines Tages Ministerialdirektor Wilhelm Grau und erklärte im Auftrag des Bundeskanzlers kurz und bündig, daß der FR 2 nach Karlsruhe müsse. Grau versicherte, hierfür seien militärische Gründe maßgebend. München läge zu nahe an der tschechischen Grenze. Kein Konferenzteilnehmer konnte diese Begründung richtig verstehen, da es sich bei der Entfernung zwischen München und Karlsruhe doch nur um einige Flugminuten handelte. Adenauer kam es wohl mehr auf irgendein innenpolitisches Kunststück des Ausgleichs zwischen verschiedenen Bundesländern an.

Die Physikalische Studiengesellschaft akzeptierte ebenso gern Karlsruhe, wo sie von der Regierung Baden-Württembergs überaus entgegenkommend aufgenommen wurde. Glücklicherweise blieb der Kontakt mit Werner Heisenberg bestehen. Er verlor keineswegs sein Interesse an der Kernenergie, sondern arbeitete in der Deutschen Atomkommission maßgeblich mit.

Auch mit Karlsruhe hielt Heisenberg intensive Verbindung. Als

die Atomkommission im Jahre 1967 ein Urteil über eine vernünftige Arbeitsteilung unter den inzwischen gewaltig angewachsenen Kernforschungsinstituten benötigte, lieferte er ein wertvolles Gutachten. Er hat sehr frühzeitig den großen Umfang der technologischen Aufgaben erkannt und wandte sich immer wieder dagegen, diese kerntechnischen Probleme zu unterschätzen und sich in den Kernforschungszentren zu stark mit Grundlagenforschung, z. B. Hochenergiephysik, zu befassen.

Bei Leopoldshafen auf dem Land

In Karlsruhe gab es dann nach dieser grundsätzlichen Standortentscheidung noch einmal ein lokales Problem: Das zunächst ausgewählte Gelände lag unmittelbar am Rhein im Hafen- und Stadtgebiet, wo später die Karlsruher Raffinerien errichtet wurden. Dieser Standort schien den Reaktortechnikern nicht günstig, da er zu wenig Ausdehnungsmöglichkeit hatte und zu dicht an besiedelten Gebieten lag. Der wichtigste Einwand war jedoch die Hochwassergefahr des Rheins. Statt dessen bot sich ein einsamer Teil des Hardtwaldes im Norden der Stadt Karlsruhe bei Leopoldshafen an.

Dort aber regten sich Proteste der Landbevölkerung. Es entstand die erste Bürgerinitiative. Die Leute argwöhnten, die Stadtverwaltung wolle den geplanten Reaktor deshalb auf das Land »abschieben«, weil er doch gewisse Risiken bringen mochte. Deswegen die demonstrierenden Gemüsefrauen und Bauern vor der Karlsruher Stadthalle.

Eine Konsequenz aus diesen ersten Widerständen war, daß frühzeitig mit Messungen begonnen wurde, die den Zustand des Wassers, der Bodenbeschaffenheit und der Luft an Ort und Stelle lange vor dem Baubeginn ermittelten. So ließ sich etwaigen späteren Beschwerden vorbeugen. Zu Beanstandungen, erst recht aber zu Schädigungen, ist es später dann nie gekommen. Das Kernforschungszentrum Karlsruhe gab vielen Bewohnern des Landkreises neue Arbeit, brachte zudem viele neue Bürger in diese schöne Gegend, in der sie sich alsbald einlebten. Der damalige Landrat Joseph Gross leistete entscheidende Hilfe bei der Gründung des Kernforschungszentrums. Ihm ist es maßgeblich zu verdanken, daß

die Bevölkerung bald Verständnis und Interesse für die dort beginnenden Arbeiten gefunden hat.

Die praktische Tätigkeit des Kernforschungszentrums in Karlsruhe begann damit, daß die Physikalische Studiengesellschaft und die Max-Planck-Gesellschaft die Reaktorgruppe von Karl Wirtz, die in der letzten Zeit vom Staat über die Physikalische Studiengesellschaft als Trägerorganisation finanziert worden war, nach Karlsruhe überstellten. Die Gruppe siedelte sich zunächst in einem provisorischen Gebäude in der Karlstraße an. Als sie dort im September 1956 ihre Arbeit aufnahm, war sie auf 55 Köpfe angewachsen.

Neben dieser Planungs- und Entwicklungsgruppe aus Göttingen war im Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz, in dem sogenannten Otto-Hahn-Institut, unter Walter Seelmann-Eggebert eine radiochemische Gruppe entstanden, die kurz darauf gleichfalls aus der Obhut der Physikalischen Studiengesellschaft und der Max-Planck-Gesellschaft entlassen wurde und nach Karlsruhe umzog. Die Physikalische Studiengesellschaft hat noch einige Zeit bestanden und mit Geldern der Bundesregierung die Ausbildung im Bereich der Reaktortechnik gefördert. Schließlich ist sie im Jahre 1959 im Deutschen Atomforum aufgegangen.

Befürchtungen, Besorgnisse, Bedenken

Für die beabsichtigte Zusammenarbeit zwischen der durch den Staat vertretenen Wissenschaft und der Industrie in Karlsruhe wurde eine juristische Form gebraucht. Sie sollte wegen der vorgesehenen engen Zusammenarbeit mit der Industrie nicht jener der bisherigen wissenschaftlichen Organisationen wie z.B. der Max-Planck-Gesellschaft oder der Deutschen Forschungsgemeinschaft entsprechen. Das wiederum erregte starke Widerstände.

Nicht wenige der Wissenschaftler, deren Mithilfe dringend benötigt wurde, argwöhnten, hier könnte sich eine »Verschwörung« anbahnen, eine schlecht zu kontrollierende Verflechtung zwischen Staat und Wirtschaft. Da die Geldmittel des Staates ohnehin knapp waren, gab es zudem Befürchtungen, daß dadurch der reinen Wissenschaft finanzielle Zuschüsse verlorengingen.

Es tauchte sogar der Argwohn auf, daß der Staat jetzt mit der Industrie hinter verschlossenen Türen Anlagen errichten wolle, die eines Tages auch militärisch verwendet werden könnten. Es war Otto Hahn selbst, der diese Sorge zum Ausdruck brachte. Man hatte sich daran zu gewöhnen, daß alle diese Dinge in der Öffentlichkeit diskutiert wurden, teilweise auch von Kritikern, die dem ganzen Unternehmen von vornherein abgeneigt gegenüberstanden. Daraus ergab sich, jeden Plan öffentlich darzulegen und alle Schritte für jeden klar und überzeugend zu machen.

Es muß hier noch einmal daran erinnert werden: vor allem in Deutschland selbst verband man in jener Zeit mit dem Stichwort Atom sofort dessen Einsatz zu kriegerischen Zwecken. Nur so ist der Proteststurm zu verstehen, der sich erhob, als Ende 1956 in Beratungen der NATO die Frage diskutiert wurde, ob die nichtamerikanischen Streitkräfte mit leichten Atomwaffen ausgerüstet werden sollten, um die Überlegenheit des Ostblocks an konventionellen Waffen auszugleichen. Innerhalb dieser Überlegungen wurde automatisch auch die Frage geprüft, ob die Bundeswehr, die gerade ihre ersten Divisionen aufstellte, ebenfalls Atomwaffen erhalten sollte.

Solche Gedanken hatte in Bonn vor allem die SPD, die in parlamentarischer Opposition stand, alarmiert. In einer Großen Anfrage verlangte sie von der Bundesregierung zu erfahren, wie sie zu der Gefahr stünde, daß Deutschland in einen Atomkrieg einbezogen werde; wie die Verwendung von nuklearen Waffen bei NATO-Übungen geplant sei; ferner wie sie zur Stationierung von Atomwaffen in Deutschland oder zur Ausrüstung der Bundeswehr mit solchen Waffen stehe; ob schließlich ein Verbot der Herstellung von Massenvernichtungsmitteln in der Bundesrepublik Deutschland erwogen werde und was zum Schutz der Bevölkerung vor atomaren Schäden beabsichtigt sei.

Ein historisches Verdikt

Weit darüber hinaus erregten achtzehn führende deutsche Atomwissenschaftler am 12. April 1957 großes Aufsehen mit ihrer sogenannten »Göttinger Erklärung«. Darin hatten unter anderem

die Professoren Max Born, Otto Hahn, Werner Heisenberg, Max von Laue und Carl Friedrich von Weizsäcker beschwörende Worte gefunden:

»Die Pläne einer atomaren Bewaffnung der Bundeswehr erfüllen die unterzeichneten Atomforscher mit tiefer Sorge. Einige von ihnen haben den zuständigen Bundesministerien ihre Bedenken schon vor mehreren Monaten mitgeteilt. Heute ist die Debatte über diese Frage allgemein geworden. Die Unterzeichneten fühlen sich daher verpflichtet, ihrerseits auf einige Tatsachen hinzuweisen, die alle Fachleute wissen, die aber der Öffentlichkeit noch nicht hinreichend bekannt zu sein scheinen:

1. Taktische Atomwaffen haben die zerstörende Wirkung normaler Atombomben. Als »taktisch« bezeichnet man sie, um auszudrücken, daß sie nicht nur gegen menschliche Siedlungen, sondern auch gegen Truppen im Erdkampf eingesetzt werden sollen. Jede einzelne taktische Atombombe oder -granate hat eine ähnliche Wirkung wie die erste Atombombe, die Hiroshima zerstört hat. Da die taktischen Atomwaffen heute in großer Zahl vorhanden sind, würde ihre zerstörende Wirkung im ganzen sehr viel größer sein. Als »klein« bezeichnet man diese Bombe nur im Vergleich zur Wirkung der inzwischen entwickelten »strategischen« Bomben, vor allem der Wasserstoffbomben.

2. Für die Entwicklungsmöglichkeit der lebensausrottenden Wirkung der strategischen Atomwaffen ist keine natürliche Grenze bekannt. Heute kann eine taktische Atombombe eine kleine Stadt zerstören, eine Wasserstoffbombe aber einen ganzen Landstrich von der Größe des Ruhrgebietes zeitweilig unbewohnbar machen. Durch Verbreitung von Radioaktivität könnte man mit Wasserstoffbomben die Bevölkerung der Bundesrepublik heute schon ausrotten. Wir kennen keine technische Möglichkeit, große Bevölkerungsmengen vor dieser Gefahr sicher zu schützen. Wir wissen, wie schwer es ist, aus diesen Tatsachen die politischen Konsequenzen zu ziehen. Uns als Nichtpolitikern wird man die Berechtigung dazu abstreiten wollen. Unsere Tätigkeit, die der reinen Wissenschaft und ihrer Anwendung gilt, und bei der wir viele junge Menschen unserem Gebiet zuführen, belädt uns aber mit einer Verantwortung für die möglichen Folgen dieser Tätig-

keit. Deshalb können wir nicht zu allen politischen Fragen schweigen. Wir bekennen uns zur Freiheit, wie sie heute die westliche Welt gegen den Kommunismus vertritt. Wir leugnen nicht, daß die gegenseitige Angst vor den Wasserstoffbomben heute einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung des Friedens in der ganzen Welt und der Freiheit in einem Teil der Welt leistet. Wir halten aber diese Art, den Frieden und die Freiheit zu sichern, auf die Dauer für unzuverlässig. Und wir halten die Gefahr im Falle ihres Versagens für tödlich.

Wir fühlen keine Kompetenz, konkrete Vorschläge für die Politik der Großmächte zu machen. Für ein kleines Land wie die Bundesrepublik glauben wir, daß es sich heute noch am besten schützt und den Weltfrieden noch am ehesten fördert, wenn es ausdrücklich und freiwillig auf den Besitz von Atomwaffen jeder Art verzichtet. Jedenfalls wäre keiner der Unterzeichneten bereit, sich an der Herstellung, der Erprobung oder dem Einsatz von Atomwaffen in irgendeiner Weise zu beteiligen. Gleichzeitig betonen wir, daß es äußerst wichtig ist, die friedliche Nutzung der Atomenergie mit allen Mitteln zu fördern, und wir wollen an dieser Aufgabe wie bisher mitwirken.«

Zwiespältige Aufnahme der Erklärung

Karl Wirtz, der zu den Mitunterzeichnern der Erklärung gehörte, erinnert sich an die ernste Grundstimmung, die damals die Göttinger Wissenschaftler zu ihrer öffentlichen Äußerung führte: Man hatte noch viel deutlicher als heute die Zerstörung und das Elend des Zweiten Weltkrieges vor Augen. Die Spätschäden der Atombombenabwürfe über Hiroshima und Nagasaki zeigten sich erst nach einer Reihe von Jahren und verstärkten das Gefühl der Wissenschaftler für die mit ihrer täglichen Arbeit verbundene Verantwortung. Zudem hatte die Bundesrepublik Deutschland anläßlich ihres Beitrittes zur Westeuropäischen Union im Rahmen der Pariser Verträge am 23. Oktober 1954 feierlich auf die Herstellung von Atomwaffen verzichtet. Es schien ihnen nur folgerichtig, auf die Gefahren des Einsatzes von Atomwaffen aufmerksam zu machen. Darüber hinaus waren sie davon überzeugt, daß die Abgabe

der Erklärung in der ganzen Welt größeres Verständnis für die Wiederaufnahme der Arbeiten an der friedlichen Verwendung der Atomenergie in Deutschland bringen würde. Daß insbesondere die Forschung im Kernforschungszentrum Karlsruhe in der Folgezeit eigentlich in Ost und West nie dem Verdacht ausgesetzt war, dort würden auch militärische Entwicklungen betrieben, schreibt Wirtz u. a. der Göttinger Erklärung zu.

Demgegenüber ist Karl Winnacker der Auffassung, die Göttinger Erklärung habe mehr Unruhe unter den Wissenschaftlern, aber auch in der Öffentlichkeit erzeugt, als daß sie dem Gedanken der friedlichen Nutzung der Kernenergie gedient hätte. Das wachsende Verständnis für die wissenschaftliche und industrielle Tätigkeit auf dem Gebiet der Kernenergie war noch keineswegs so entwickelt, daß es den sehr differenzierten Wertungen der Erklärung in allen Punkten folgen konnte. Die psychologische Wirkung mußte vielmehr sein, daß wieder einmal die zerstörerische Kraft der Atombombe mit dem Begriff der Kernenergie gleichgesetzt wurde. Gerade wegen des schon ausgesprochenen Verzichts auf die Herstellung von Atomwaffen sah Winnacker es nicht als sinnvoll an, daß die unterzeichnenden Wissenschaftler ihre Beteiligung noch einmal ausdrücklich ablehnten. Aus diesem Blickwinkel mußte daher die Erklärung, die mit keinem offiziellen Gremium, wie etwa der Atomkommission, abgestimmt war, als überraschend empfunden werden. Im Grunde genommen hatten alle militärisch-politischen Überlegungen mit dem Bau von Kernreaktoren nichts zu tun. Doch wer konnte erwarten, daß die Öffentlichkeit auf diesen schwierigen Gebieten die Dinge klar auseinanderhielt.

Die Entwicklung der deutschen Kernenergie mußte sehr viel mehr als bisher publizistisch begründet werden. Alle Fortschritte, aber auch alle neuen Vorhaben, die finanzielle Aufwendungen erforderten, verlangten nach einer öffentlichen Diskussion. Die deutsche Wissenschaft hatte zu lernen, sich – wie das in Amerika längst üblich war – der Öffentlichkeit verständlich zu machen.

Inzwischen haben die meisten deutschen wissenschaftlichen Gesellschaften und Institutionen das kleine und große »ABC« der »Public Relations« begriffen. Für die Kerntechnik ist die Öffentlichkeitsarbeit auch heute noch eine der dringlichsten Aufgaben.

Ein Firmenmantel – nicht nach Maß

Doch zurück zu dem Aufbau von Karlsruhe. Die Juristen der Wirtschaft und der öffentlichen Hand kamen schließlich überein, eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung zu gründen. Dies war die Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft mbH, an der sich die Industrie mit 50%, sodann Bund und Land Baden-Württemberg gemeinsam mit 50% beteiligten.

Diese juristische Form hat sich zwar nicht in jeder Beziehung bewährt. Sie lieferte zunächst aber eine Basis für die sachliche Zusammenarbeit.

Es gab in Deutschland seit langer Zeit staatliche Industrieunternehmen, die als GmbH oder als Aktiengesellschaft geführt wurden und nach rein privatwirtschaftlichen Prinzipien arbeiten konnten, zum Beispiel die VIAG (Vereinigte Industrie-Unternehmungen AG) und die Hibernia, die später in der VEBA AG aufgingen. Ihre Anteile lagen in den Händen des Staates, und die vom Anteilseigner bestellten Vorstände oder Geschäftsführer waren im Rahmen ihrer satzungsmäßigen Vollmacht handlungsfähig. Solche und ähnliche Gesellschaften können sich, da sie eine klare wirtschaftliche Zielsetzung haben, nach wie vor mit Erfolg betätigen.

Andererseits sind rein öffentliche Dienstleistungsbetriebe, die, wie etwa Bundesbahn oder -post, über Monopole verfügen, bei all ihren Problemen ständiger Einwirkung der öffentlichen Verwaltung ausgesetzt. Es fehlt bei solchen Institutionen der Zwang zu wirtschaftlichem Denken und zur befruchtenden Auseinandersetzung mit der Konkurrenz.

Es gab deswegen erhebliche Bedenken gegen eine solch starre Form, weil es sich hier um eine schwer übersehbare technische Entwicklung handelte. Aber sie stießen eben dabei an Grenzen, die man in Deutschland nicht überschreiten kann. Die Verhandlungen wurden in dieser ersten Phase fast ausschließlich vom Bundesfinanzministerium geführt. Das neu gegründete Atomministerium hatte darauf wenig Einfluß.

Der Hüter des »Julius-Turms«

Finanzminister in Bonn war zu dieser Zeit der überaus sparsame Fritz Schäffer, der den Zeitgenossen von damals noch durch seinen »Julius-Turm« bekannt ist. Dieser Ausdruck erinnert an den Turm gleichen Namens in der Festung Spandau. In seinem Innern war nach dem Deutsch-Französischen Krieg 1870–1871 die Kriegsentschädigung, welche die Franzosen in Höhe von 4 Milliarden Francs in Gold gezahlt hatten, aufbewahrt worden. Im Jahr 1956 hatte Finanzminister Schäffer still und heimlich viele Milliarden auf einem verborgenen Konto untergebracht, was ihm dann den Zorn der ausgabefreudigen Kabinettsmitglieder, des Parlaments und der Öffentlichkeit zuzog.

Solche Auswüchse von Sparsamkeit sind heute nicht mehr denkbar. Einige erinnern sich noch lebhaft der tiefen Enttäuschung Fritz Schäffers, als er für diese Tat getadelt und öffentlich kritisiert wurde.

Mit diesem Finanzminister, einem Fiskalisten strengster Observanz, und seinen Mitarbeitern völlig in den Wolken hängende Probleme auszuhandeln, erwies sich als außerordentlich schwierig, da eben die Regeln des Fiskus von denjenigen der Wirtschaft vollständig verschieden sind. Der Finanzminister sah genau darauf, daß die Industrie ja nicht vorzeitig oder überhaupt allzu viel Geld verdiente. Schon damals fiel das geflügelte Wort von der Privatisierung der Gewinne und der Sozialisierung der Verluste.

Schäffer bestand darauf, daß die Wirtschaft immer nur in dem Maße mitreden durfte, in dem sie finanzielle Mittel beisteuerte, und daß alle Verhandlungen streng nach den Grundsätzen des Bundesfinanzministeriums und des Rechnungshofes geführt werden mußten.

Das Problem einer angemessenen Kostenbeteiligung der Industrie, die in jedem Falle in langwierigen Verhandlungen ausgehandelt wurde, spielt in Deutschland noch immer eine große Rolle. Auch heute verlangt man fast bei jedem öffentlich geförderten technisch-wissenschaftlichen Projekt, daß die Industrie einen wesentlichen Anteil trägt, was bei großen Risiken, die in ungewisser Zukunft liegen, oft gar nicht möglich ist. Dies gilt zum Beispiel für

den Bau einer Uran-Anreicherungsanlage oder anderer kerntechnischer Einrichtungen mit Investitionen, die in die Milliarden gehen.

Die schlechten Erfahrungen mit der Staatswirtschaft im Dritten Reich waren noch nicht vergessen. Bund und Länder hatten in ihren Geschäftsordnungen ganze Komplexe von Bestimmungen und Vorschriften – nun vielleicht sogar nach der anderen Seite übertrieben – eingebaut. Manche davon waren freilich auch recht hinderlich, gingen sie doch zum Teil noch auf die kameralistische Verwaltung im Preußen des 18. Jahrhunderts zurück.

Amerika hat es besser

Unter solchem bürokratischen »Erbgut« hat die deutsche wissenschaftliche und technische Entwicklung, insbesondere die Kernenergie, sehr gelitten. In den Vereinigten Staaten hatte sich solche Zusammenarbeit sehr viel großzügiger entwickelt. Die Industrie trägt vielfach technische und wissenschaftliche Verantwortung. Der Staat erteilt die Aufträge und zahlt die Kosten, behält sich aber sorgfältige Nachprüfung vor. Im übrigen vertraut man darauf, daß die der Industrie zukommenden Vorteile später – auf dem Umweg über den Gewinn – als Steuern für die Allgemeinheit zu Buche schlagen.

Diese Haltung eines reichen Landes hat sowohl im Krieg als auch später bei den großen nationalen Aufgaben – etwa der Weltraumforschung – der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung außerordentlich genützt. Es ist sehr interessant festzustellen, daß die Ergebnisse der NASA-Entwicklung, soweit sie in Form von Patenten und Vorschriften niedergelegt sind, schon jetzt der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

Freilich gibt es gerade im Beriech der Kernenergie auch negative Beispiele. So sind in Frankreich und England für dieses Arbeitsgebiet von Anfang an staatliche Institutionen eingerichtet worden. Ihr Behördenstil war der Entwicklung großer technischer Projekte, wie der ersten Kernreaktoren, nicht sehr dienlich. Ohne privatwirtschaftlichen Einfluß erforderten sie einen außerordentlichen finanziellen Aufwand. Vor allem aber war wegen der fehlenden

Zusammenarbeit die Industrie in diesen Ländern nur schwer in der Lage, eigene Erfahrungen zu sammeln. Dies mußte sich auf die Dauer ungünstig auf die Möglichkeit des Exportes von Kernreaktoren auswirken. Deshalb war es nach Lage der Dinge wohl nicht anders möglich, als Mittelwege zu gehen und neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Staat zu suchen.

Schließlich wurde am 4. Juli 1956 die Kernreaktor-Finanzierungs-Gesellschaft gegründet, an der sich zuerst 65, später 92 Firmen der deutschen Industrie beteiligten. Von ihnen wurde zunächst ein Betrag von 15 Millionen Mark gezeichnet. Weitere 15 Millionen wurden zu 60 Prozent vom Bund und zu 40 Prozent vom Land Baden-Württemberg aufgebracht. Mit diesem Beteiligungsverhältnis von 50 Prozent für die Industrie, 30 Prozent für den Bund und 20 Prozent für das Land Baden-Württemberg wurde die Kernreaktorbau- und Betriebsgesellschaft Karlsruhe zwei Wochen danach aus der Taufe gehoben. Von vornherein bestand Klarheit darüber, daß weitere 10 Millionen DM aufgebracht werden mußten und im gleichen Verhältnis aufzubringen waren. Bei den schwierigen juristischen Vorverhandlungen war die Industrie durch die Herren Heinz Kaufmann (Hoechst) und Heinz Maier-Wegelin (Degussa) vortrefflich vertreten.

Aufsichtsrat – für Bundesminister gesperrt

Als Gesellschaftsform wurde schließlich die GmbH gewählt. In der Gesellschafterversammlung, die jeweils über alle wichtigen Entscheidungen zu befinden hatte, waren Bund und Land Baden-Württemberg einerseits und die Industrie andererseits entsprechend ihren Anteilen zu je 50% vertreten. Man mußte sich also immer einigen, wenn nicht eine Patt-Situation entstehen sollte. Der Vorsitz im Aufsichtsrat sollte zwischen den Partnern wechseln. Zunächst übernahm ihn der Atomminister.

Später, als Bundesminister Siegfried Balke den Vorsitz führte, erhob plötzlich der Bundesrechnungshof Einspruch. Die Geschäftsordnung der Bundesregierung verbot, daß ein Bundesminister Vorsitzender oder Mitglied eines Aufsichtsrates sein durfte.

Derlei Überraschungen waren in Karlsruhe nicht selten. Daß

Bundesminister in dieser Hinsicht Abstinenz zu üben hatten, war generell vielleicht eine durchaus weise Bestimmung. Sie hätte freilich konsequenterweise auch für die Länderminister gelten sollen. Bei einer rein wissenschaftlichen Institution dagegen war sie sicher nicht sinnvoll. Es wurde versucht, den Bundesrechnungshof umzustimmen. Vergeblich! So nahm denn der jeweilige Atomminister seither als Gast an der Aufsichtsratssitzung teil, obwohl er doch der Spiritus rector der gesamten Entwicklung sein sollte und im Grunde auch war.

Anstelle von Siegfried Balke trat Staatssekretär Wolfgang Cartellieri aus dem Atomministerium, dem Karlsruhe viel verdankt. Die Landesminister durften im Aufsichtsrat bleiben und haben dort sehr intensiv und großzügig mitgearbeitet. Vertreten waren ferner die Wirtschaft, die Gewerkschaft für öffentliche Dienste, Transport und Verkehr und durch je einen Repräsentanten der Universitäten Karlsruhe und Heidelberg, mit denen die wissenschaftlichen Institute des Kernforschungszentrums ja besonders eng verknüpft werden sollten.

Eine Vertretung der Belegschaft gab es im Aufsichtsrat nicht. Dies hing damit zusammen, daß nach dem Betriebsverfassungsgesetz bei sogenannten Tendenzbetrieben, die wissenschaftlichen Bestimmungen dienen, die Wahl von Arbeitnehmervertretern in den Aufsichtsrat nicht vorgeschrieben war. Inzwischen hat sich das geändert.

Kein Geschäftsführer aus der Wissenschaft

Mit der Bestellung der Geschäftsführer ging es anders, als es die Industrie wollte. Es wurden lediglich zwei berufen, von denen einer Verwaltungsleiter, der andere technischer Leiter sein sollte. Mit ihrem Wunsch, daß bei dieser wissenschaftlichen Einrichtung ein dritter Geschäftsführer aus der Wissenschaft kommen müßte, drang sie nicht durch. Die Industrie stand bei solch selbstverständlichen Vorschlägen immer der Meinung der Vertreter des Staates gegenüber, die aufgrund von Vorschriften und Weisungen eine Stellung bezogen, die man angesichts der Anteilsverhältnisse 50 zu 50 auch nicht erschüttern konnte.

Wer in einer solchen Gesellschaftsform mit dem Staat arbeiten will, muß sich klar darüber sein, daß er in ein Prokrustesbett eingespannt ist. So war es in Karlsruhe selbst bei der kleinsten Entscheidung. Der Repräsentant des Bundesfinanzministeriums, mit dem Bundesrechnungshof im Rücken, bestimmte – ein echter Rocher de bronze – die größten, oft aber auch die kleinsten Dinge. Er kam mit vorgefaßter Meinung, die seine Referenten vorher erarbeitet hatten. Diese Meinung konnte meistens auch nicht geändert werden.

Alle Aufsichtsratssitzungen verliefen in gleicher Weise: Bund und Land hatten sich vorher abgestimmt, auch über die belanglosesten Themen. Sogar die Minister waren gegenüber solchen Vorentscheidungen verhältnismäßig hilflos. Die staatliche Intervention war die Beigabe, die hingenommen werden mußte, wenn man mit dem Staat in der beabsichtigten Weise zusammenarbeiten wollte. Für sich alleine hätte die Wirtschaft diesen Start nicht beginnen können, weil ihr dazu die Mittel fehlten. Hätte sie andererseits angesichts der bürokratischen Ärgerlichkeiten dem Staat die Atomenergie allein überlassen, wäre es nicht zu dem gewünschten Erfolg gekommen, wie das am Schicksal der Kernenergieentwicklung anderer Länder deutlich wurde.

Es ging nicht ohne Reibungen

Trotzdem hat man in Karlsruhe – wie übrigens auch in Jülich, wo die Verwaltungsschwierigkeiten lange Zeit noch viel größer waren – erfolgreich zusammengearbeitet. Es waren der gute Wille und die große innere Verpflichtung aller Beteiligten, daß auf gütliche Weise immer ein geeigneter Weg gefunden wurde. Vielleicht waren die Repräsentanten der Wirtschaft auch zu fremd in diesem staatlichen System, um darin ohne Reibungen mitwirken zu können.

In Karlsruhe wurde schließlich als Geschäftsführer für die Verwaltung Oberregierungsrat Rudolf Greifeld bestimmt, der aus der württembergischen Landesregierung kam und bis zu seiner Pensionierung im Jahre 1974 diese Geschäfte mit Geschick geführt hat. Der technische Geschäftsführer war Gerhard Ritter, der frü-

her bei der I.G. Farbenindustrie gewesen war. Er legte in Karlsruhe den Grundstein für eine so vernünftige und großzügige Planung und Raumordnung, daß noch heute Erweiterungsmöglichkeiten des Zentrums vorhanden sind. Bald danach ging Ritter zur Euratom-Organisation und fand dort bei der Planung und Neugründung des Zentrums in Ispra in Oberitalien eine neue Aufgabe.

An seine Stelle trat Walther Schnurr, der gleichfalls aus der chemischen Industrie kam und vorher für kurze Zeit im Atomministerium tätig gewesen war. Nach seinem Eintritt in den Ruhestand übernahm von 1970 bis 1974 Otto Haxel, damals Professor für Physik in Heidelberg, die technische Geschäftsführung.

Da eine wissenschaftliche Leitung in Karlsruhe zunächst nicht durchgesetzt werden konnte, aber Kontakt zu den Nachbaruniversitäten gefunden werden mußte – nicht zuletzt, um die nach Karlsruhe berufenen Institutsleiter mit den Universitäten in Verbindung zu bringen und ihnen dort eine Lehrmöglichkeit zu vermitteln –, hatte der Aufsichtsrat schon 1956 für etwas länger als ein Jahr Otto Haxel in die Geschäftsführung delegiert. Er trat nach Ablauf dieser Frist wieder in den Aufsichtsrat zurück.

Ein wissenschaftlicher Rat

Als sich später herausstellte, daß in Karlsruhe die Wissenschaft nicht nur durch Verwaltungsmaßnahmen, sondern auch durch eine eigene Organisation zusammengefaßt werden mußte, kam es im Kernforschungszentrum zur Gründung eines Wissenschaftlichen Rates, der jeweils für zwei Jahre aus seiner Mitte einen Leiter wählte. Dieser nahm als Gast an den Aufsichtsratssitzungen teil.

Mit dem Regierungswechsel 1969 ergaben sich Änderungen in der Auffassung, wie die Leitung des Kernforschungszentrums auszugestalten sei. Die Bundesregierung entwarf aus diesem Grund Leitlinien. Sie brachten das Moment der Mitbestimmung auch in den wissenschaftlichen Bereich. Dadurch nahm die Zahl der Mitglieder des wissenschaftlichen Rates sehr stark zu, er wurde unbeweglicher und leidet bis jetzt an dieser Schwäche. Die Wissenschaftler, die für Institute Verantwortung tragen, sind seitdem in der Minderzahl.

In Karlsruhe wird es »kritisch«

Noch lange bevor der Reaktor kritisch wurde, entstand dennoch in Karlsruhe eine kritische Situation, und zwar der Kosten wegen. Die Gesellschafter mußten nämlich bald feststellen, daß die zunächst bereitgestellten vierzig Millionen DM für das Projekt FR 2 nicht ausreichten. Deswegen wurde das Kapital der Gesellschaft auf sechzig Millionen DM erhöht. Die Industrie übernahm davon über die Kernreaktor-Finanzierungs-Gesellschaft weitere zehn Millionen DM. Insgesamt besaß sie also dreißig Millionen DM Anteile. Damit konnte sie ihre Parität zunächst aufrechterhalten.

Als auch das für die großen Investitionen nicht mehr ausreichte und Bund und Land auf exakten Beteiligungsverhältnissen bestanden, wenn die Industrie ihre gleichberechtigte Mitsprache aufrechterhalten wollte, mußten neue Wege gefunden werden. Die Vertreter des Staates wollten aber – zumindest vorläufig – noch nicht auf die Mitarbeit der Industrie verzichten. Die Gesellschaft gliederte die vorgesehenen wissenschaftlichen Institute, nämlich das Reaktorinstitut unter Karl Wirtz, das radiochemische Institut unter Walter Seelmann-Eggebert und das Institut für Strahlenbiologie unter Leitung Karl-Günter Zimmers, aus und behielt nur den Reaktor.

Als schließlich die Kosten für die Reaktorentwicklung immer höher wurden, übernahm die Bundesregierung großzügig auch noch die Beschaffung der Erstausrüstung des Reaktors mit Uran und Schwerem Wasser.

Die Zunahme der Kosten brach jedoch keineswegs wie ein Naturereignis zur Überraschung der Beteiligten herein. Als noch während der Planungsarbeiten Schweres Wasser am Weltmarkt plötzlich in größerer Menge verfügbar wurde, zogen die Verantwortlichen von Bundesregierung, Industrie und Kernforschungszentrum für den FR 2 den durchaus logischen Schluß, daß man den Reaktor größer bauen sollte. Das führte zu einem höheren Aufwand. Daß dieses Schwere Wasser aus den Vereinigten Staaten angeboten wurde, hing sicherlich auch mit dem Bau der Schwerwasserversuchsanlage der Farbwerke Hoechst AG zusammen, deren Betrieb wegen des dann folgenden Preisverfalls wieder einge-

stellt wurde. So mußte Hoechst eine Rechnung bezahlen, die sich zum Glück für Karlsruhe günstig auswirkte.

Allmählich wurde aber klar, daß das paritätische Verhältnis in Karlsruhe nicht aufrecht erhalten werden konnte. Wegen des Baus des Mehrzweckforschungsreaktors (MZFR) wurde 1961 im Kernforschungszentrum Karlsruhe zusätzlich eine Sondergeschäftsführung eingerichtet. Sie bestand aus Heinrich Schöller und dem aus dem Atomministerium gekommenen Josef Brandl, der 1968 von August-Wilhelm Eitz abgelöst wurde. Es waren die Aufgaben dieses »Geschäftsbereiches Versuchsanlagen« in der Gesellschaft für Kernforschung (GfK), in Abstimmung zwischen Staat und Industrie eine Reihe inzwischen neu konzipierter großtechnischer Versuchsanlagen zu errichten und zu betreiben.

Es handelte sich also nicht mehr um reine Forschungsaufgaben, wie sie sonst in Karlsruhe im Vordergrund standen. Neben dem MZFR gehörten später zu diesen Großversuchsanlagen auch eine Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage (KNK) und die Wiederaufarbeitungsanlage für Kernbrennstoffe, die sogenannte WAK.

Nun bestanden in Karlsruhe – die Bürokratie hatte es erreicht – zwei Institutionen auf demselben Gelände. Obwohl sie technisch vieles gemeinsam hatten und natürlich zusammenarbeiten mußten, war die Betriebsführung doch vollständig getrennt.

Die Industrie verschenkt ihren Anteil

Eines Tages war es so weit, daß die paritätische Mitarbeit der Industrie auch in der ursprünglichen Gesellschaft nicht mehr aufrechterhalten werden konnte. Der Staat verlangte, daß die beteiligten Firmen in dem Maße, in dem sie nicht mehr finanziell beitrugen, auch in ein Minderheitsverhältnis gehen sollten. Das aber wollte die Wirtschaft nicht, da solche Lösungen meist schlecht funktionieren.

Schließlich hat dann die Wirtschaft auf ihren Anteil von dreißig Millionen DM verzichtet. Er wurde in voller Höhe ohne Gegenwert auf den Bund übertragen. Bonn übernahm dafür die Verpflichtung, für fünf Jahre zwei Mitglieder der Industrie im Auf-

sichtsrat zu behalten. Diese beiden Mitglieder wurden vereinbarungsgemäß vom Präsidium des Deutschen Atomforums bestimmt. Am 2. Mai 1963, also sieben Jahre nach der Gründung von Karlsruhe, wurde die Mitwirkung der Industrie und ihre großzügige Spende von den verbleibenden Gesellschaftern in einer öffentlichen Festveranstaltung gewürdigt.

Im Jahre 1974, als die Geschäftsführer Rudolf Greifeld und Otto Haxel nach Erreichen der Altersgrenze in den Ruhestand traten, erhielt Karlsruhe eine der Größe und Bedeutung des Zentrums angemessene neue Form der Leitung. Ein Vorstand aus fünf Köpfen – darunter auch Wissenschaftler – mit einem Vorsitzenden teilte sich die Aufgaben.

Zusammenfassend kann zu diesem Teil der Gründungsgeschichte der deutschen Atompolitik und Atomwirtschaft gesagt werden: die Starthilfe der deutschen Industrie, ganz abgesehen von ihrem finanziellen Beitrag, hat dem Projekt außerordentlich genützt. Eine solche Mitarbeit war in der Zeit des Übergangs von der naturwissenschaftlichen Entwicklung in eine technische und wirtschaftliche Phase dringend erforderlich. Für die Industrie wiederum bot sich die willkommene Gelegenheit, durch ihre Teilnahme an dem Planungs- und Laboratoriumsgeschehen wertvolle Informationen zu sammeln und einen Stamm an Fachleuten auszubilden.

Die gemeinsamen Jahre in Karlsruhe haben die Zusammenarbeit geprägt, die sich nun zwischen dem Kernforschungszentrum und der Industrie weiter entwickelte, vor allem soweit es sich um großtechnische Projekte handelte. Anders als in den übrigen Industrieländern ging die eigentliche Reaktorentwicklung in sehr frühem Stadium – unmittelbar nach Fertigstellung des FR 2 – auf die Industrie über. Sie konnte sich dabei ständig auf die wertvolle und grundsätzliche Mitarbeit der Kernforschungszentren stützen.

»Gelber Kuchen« – made in Canada

Das Uran für den Reaktor FR 2 in einer Menge von 5 Tonnen mußte in Form von Urandioxid (UO_2) als sogenannter »Yellow Cake« aus Kanada bezogen werden. Glücklicherweise hatte die

Degussa sich unter Leitung von Hermann Schlosser frühzeitig auf die Verarbeitung des Urandioxids zur Herstellung von Brennelementen vorbereitet. Das war vor allem das Verdienst von Felix Prentzel, Heinz Schimmelbusch und Günter Wirths, die sich für dieses Gebiet sehr eingesetzt haben.

Die Degussa gründete für die Herstellung der Brennelemente gemeinsam mit dem Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk, der Metallgesellschaft und der englischen Firma Rio Tinto Zinc die Nukem, Nuklear-Chemie und -Metallurgie GmbH. Dank dieser Vorbereitungen konnten die Brennelemente für den FR 2 in Deutschland selbst gefertigt werden. Das war eine erste Bewährungsprobe, die für die Reaktorentwicklung in Deutschland entscheidende Bedeutung hatte. Die Nukem wurde im Laufe der Zeit zur zentralen Entwicklungs- und Produktionsstätte im Bereich der Brennelemente. Ihre private Initiative, die in den ersten Jahren durch staatliche Zuschüsse gefördert wurde, hätte von anderen Forschungs- oder Entwicklungsstellen kaum aufgebracht werden können.

Das andere Problem war die Beschaffung des als Moderator und Kühlmittel dienenden Schweren Wassers. Für ihre militärische Entwicklung verfügten die USA über große Fabrikationsanlagen, aus denen sie uns 28 Tonnen Schweres Wasser lieferten. Als Karl Winnacker im Herbst 1959 nach einer langen USA-Reise mit einigen Mitarbeitern auf der »Bremen« nach Europa zurückkehrte, war zufällig als besonders gewichtiges Frachtgut die Sendung Schweres Wasser an Bord.

Wasserelektrolyse nicht wirtschaftlich

Da in der Natururan-Schwerwasserlinie damals eine nachhaltige Entwicklung gesehen wurde, ging auch die Bundesrepublik daran, die verschiedenen Herstellungsmöglichkeiten zu bearbeiten und sich auf eine größere Eigenproduktion vorzubereiten.

Das Deuterium (D_2) ist im normalen Wasserstoff (H_2) als schweres Isotop in einer Menge von 0,014% enthalten. Die deutschen Atomphysiker hatten bei ihren ersten Arbeiten während des Krieges Schweres Wasser (D_2O) aus Wasserelektrolysen in Nor-

wegen bezogen. Dieser Weg, der überhaupt zuerst zum Schweren Wasser führte, fiel jetzt aus, weil er unwirtschaftlich ist und Wasserelektrolysen im Gebiet der Bundesrepublik nicht mehr betrieben werden.

Die Amerikaner haben bei ihren Großanlagen ein Isotopen-Austauschverfahren benutzt, das auf der Temperaturabhängigkeit des Austauschgleichgewichtes von Wasserstoff und Deuterium beruht. Sie verwendeten den Isotopenaustausch zwischen Schwefelwasserstoff (H_2S), in dem gleichfalls Deuterium gebunden ist, und Wasser (H_2O)

$$HDS + H_2O \rightleftarrows H_2S + HDO$$

Dieses Verfahren bietet wegen des Umgangs mit großen Mengen Schwefelwasserstoff beachtliche Schwierigkeiten in bezug auf Korrosion und Belästigung der Umwelt.

Andere Möglichkeiten liegen in ähnlichen Austauschverfahren, z. B. von Wasserstoff mit Ammoniak oder Wasser

$$HD + NH_3 \rightleftarrows H_2 + NH_2D$$

und

$$HD + H_2O \rightleftarrows H_2 + HDO$$

Beide Möglichkeiten sind in größeren Versuchsanlagen besonders von der Firma Uhde, Dortmund, und von der Bamag, Berlin, untersucht worden. Sie sind aber an das Vorhandensein sehr großer Wasserstoffmengen gebunden. Aus einer Ammoniakanlage mit einer Kapazität von 1000 Tonnen pro Tag Ammoniak könnte man lediglich 60 t D_2O im Jahre gewinnen, und das nur mit einem sehr großen apparativen Aufwand.

Die Trennung von H_2O und D_2O durch Destillation erfordert wegen der hohen Verdampfungswärme großen Wärmeaufwand. Außerdem liegen die Siedepunkte von H_2O mit 100 °C und von D_2O mit 101,4 °C sehr nahe beieinander. Man verwendet diese Methode nur dann, wenn im Laufe der Herstellung von Schwerem Wasser durch andere Verfahren schon eine größere Vorkonzentration erreicht wurde.

Schweres Wasser aus Hoechst

Vielversprechender war die Tieftemperaturdestillation von flüssigem Wasserstoff. Eine Anlage mit einer Kapazität von vier bis sechs Tonnen pro Jahr wurde auf dem Gelände der Farbwerke Hoechst AG errichtet, die auch die Finanzierung übernahm. Planung und Montage erfolgten gemeinsam mit der Linde AG. Der Wasserstoff wurde in Hoechst dem Kreislauf einer Anlage zur Synthese von Ammoniak entnommen, verflüssigt und der Schwere Wasserstoff durch Destillation getrennt. Der Siedepunkt von H_2 beträgt $-253{,}8\,^{\circ}C$, derjenige von D_2 $-249{,}6\,^{\circ}C$. Angesichts der geringen Siedepunktdifferenz fordert die Destillation große Trennschärfe. Der abgetrennte schwere Wasserstoff (D_2) wurde mit Sauerstoff zu D_2O verbrannt.

Eine von der Linde AG aufgrund der Erfahrungen in Hoechst errichtete Anlage mit einer Kapazität von 14 Tonnen im Jahr wurde 1962 in Indien in Betrieb genommen. Die Anlage in Hoechst wurde stillgelegt und demontiert, als – wie schon gesagt – die Konkurrenzfähigkeit einer Anlage in Deutschland wegen des plötzlich gefallenen Schwerwasserpreises nicht mehr zu erwarten war. Die Wasserstoffdestillation wurde auch bei Sulzer in der Schweiz und bei der Air Liquide in Frankreich angewandt.

Diese Arbeiten zur Herstellung von Schwerem Wasser verloren später in der Bundesrepublik an Interesse, da man sich von der Natururanlinie abwandte. In Kanada ist noch einmal eine Großanlage nach dem amerikanischen Schwefelwasserstoffverfahren errichtet worden. In letzter Zeit hat die Firma Uhde Schwerwasseranlagen in Auftrag bekommen, die nach dem Ammoniak-Austauschverfahren arbeiten. Die Produktion von Schwerem Wasser ist jedoch von neuem interessant geworden, da sich Länder wie Argentinien und England zu Leistungsreaktoren mit Moderierung durch Schweres Wasser entschlossen haben.

1961 war es soweit

Der Reaktor FR 2 wurde unter Leitung von Karl Wirtz in seinem Reaktorinstitut in Karlsruhe konstruiert und errichtet. Die Liefe-

rung der Apparateteile stand allen deutschen Firmen offen, so daß es zu einer wirklichen Gemeinschaftsarbeit kommen konnte. Es gab dabei auch technische Mängel, die rechtzeitig vor der endgültigen Inbetriebnahme erkannt und behoben wurden. An die Qualität der Apparaturen und ihren Zusammenbau, besonders an die Schweißnähte, mußten wegen der späteren Unzugänglichkeit hohe Anforderungen gestellt werden. Es waren damals – wie bei vielen späteren Reaktorbauten – Mängel an traditionellen Betriebsteilen, die mit dem eigentlichen nuklearen Teil meist nichts zu tun hatten, die aber bei der besonderen Belastung mit hoher Radioaktivität und den daraus folgenden Sicherheitsansprüchen sich schwerwiegend auswirkten. Weil einzelne Teile ausgewechselt werden mußten, kam der FR 2 erst mit einiger Verspätung in Betrieb. Am 7. März 1961 wurde der Reaktor nach sorgfältiger Beladung mit der vorausberechneten Anzahl von Brennelementen kritisch und bald auf seine Soll-Leistung von 12000 Kilowatt gebracht.

Er war der erste vorsichtige Schritt einer Eigenentwicklung im Reaktorbau und ausschließlich für Forschungszwecke bestimmt. Deswegen wurde dabei auch von vornherein auf die Erzeugung elektrischer Energie verzichtet, die einer Leistung von ca. 5000 Kilowatt entsprochen hätte. Statt dessen wurde die Wärme bei der niedrigen Temperatur von 80 °C an das Kühlwasser abgegeben.

Bis heute störungsfrei

Der Reaktor wurde mit einer großen Zahl senkrechter und horizontaler Versuchskanäle ausgestattet, an denen vielerlei wertvolle Versuchsarbeiten durchgeführt werden konnten. Später wurde die thermische Leistung durch Umbau des Cores unter Verwendung von angereichertem Brennstoff auf ca. 40000 Kilowatt erhöht. Das hätte einer elektrischen Leistung von etwa 12000 Kilowatt entsprochen. An der Gesamtkonstruktion, besonders am Kühlwasserkreislauf, mußte dabei nichts Wesentliches geändert werden. In dieser Form ist der Reaktor bis heute störungsfrei in Betrieb. Da die Zukunft der verschiedenen Reaktortypen zunächst noch nicht voll übersehen werden konnte und auch die Versorgung

mit Kernbrennstoffen noch nicht ausreichend geklärt war, wurde in Deutschland die Natururan-Schwerwasserlinie eine Zeitlang weiter verfolgt. Kurz nach der endgültigen Fertigstellung des FR 2 im Jahre 1961 begann die Firma Siemens mit dem Bau eines größeren Natururan-Schwerwasserreaktors ähnlicher Bauart, dem sogenannten Mehrzweckforschungsreaktor (MZFR). Es handelt sich um einen Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Leistung von 50 Megawatt, der ebenfalls in Karlsruhe errichtet wurde.

Der Name sagt schon, daß dieser Reaktor mehreren Zwecken dienen sollte. Das war bei der Verteidigung dieses Planes gegen öffentliche Kritik und gegen die ungerechtfertigte Sparsamkeit der Behörden sehr wichtig.

Die Vorteile dieses Reaktors: Er ist mit einem elektrischen Teil versehen, so daß die Stromabgabe an ein elektrisches Netz über einen längeren Zeitraum erprobt werden kann. Er ist so ausgestattet, daß man die Brennelemente während des Betriebes auswechseln konnte. Neue Brennelemente lassen sich ohne Störung des Betriebes einsetzen und untersuchen. Schließlich besitzt er auch Versuchskanäle (Loops). Sie wurden allerdings – wie sich später ergab – nicht genutzt, weil die Arbeitsmöglichkeiten am FR 2 ausreichend waren und der MZFR überwiegend zur Stromerzeugung betrieben wurde. Im Grunde genommen hat sich der MZFR zum ersten Versuchskernkraftwerk eigener Konzeption hin entwickelt; die Bezeichnung »Forschungsreaktor« war ein wenig mit Rücksicht auf die Bewilligungsbedingungen der öffentlichen Hand gewählt worden.

Dieser zweite Reaktor, der »MZFR«, wurde am 29. September 1965 kritisch. 1966 begann er mit der Stromerzeugung. Über die Zweckmäßigkeit dieses Baus wurde wiederum in der Bundesrepublik – wie über alles – lange beraten, zumal inzwischen die Leichtwasserreaktoren im Vormarsch waren. Die Firma Siemens hat unter der Leitung von Carl Knott und Wolfgang Finkelnburg auf diesem Gebiet große Aktivität entwickelt. Es hat der Reaktorentwicklung sehr genutzt, daß an diesem Bau die Betriebssicherheit, vor allen Dingen einer mit Sattdampf betriebenen Turbine, über einen längeren Zeitraum studiert werden konnte, ohne daß ein Versuchsprogramm Unterbrechungen notwendig machte.

Glück und Pech mit Reaktoren

Wegen seiner geringen elektrischen Leistung konnte der Reaktor wirtschaftlich mit großen traditionellen Kraftwerken nicht konkurrieren. Er hat sich aber schon deswegen bewährt, weil er im Vergleich zu fast allen Kernkraftwerken in der Welt die bei weitem beste und störungsfreieste Benutzungsdauer hat.

Nachdem der »MZFR« seinen Zweck rund ein Jahrzehnt erfüllt hat, soll er jetzt stillgelegt werden. Eine solche Abstellung des Reaktors aus rein wirtschaftlichen Motiven wäre zu bedauern, aber verständlich.

Aufgrund der guten Erfahrung mit dem MZFR hat die Firma Siemens im Jahre 1962 einen Auftrag aus Argentinien bekommen. Sie errichtete in Atucha einen Natururan-Schwerwasserreaktor mit einer Leistung von 340 Megawatt, der 1974 kritisch wurde und seitdem ohne Beanstandungen in Betrieb ist.

Weniger glücklich verlief der Bau eines weiteren schwerwassermoderierten Reaktors in der Bundesrepublik, der von Siemens in Niederaichbach mit einer Leistung von 100 Megawatt erbaut wurde. Der Reaktor war anstelle eines Druckkessels mit einem senkrecht angeordneten Druckröhrensystem ausgestattet, mit Schwerwasser moderiert und mit Kohlendioxid-Gas gekühlt.

Über die Errichtung dieser Konstruktion wurde viel diskutiert. Noch bevor der Reaktor fertig war, hielt man ihn teilweise für überholt und dachte daran, die Montage einzustellen. Schließlich aber wurde er, um seine Leistung zu steigern, anstelle von Natururan mit angereichertem Uran von 1,15% ausgestattet.

Blick auf Kanada

Obwohl sich die Druckröhrenkonstruktion an anderen Stellen zu bewähren schien, erreichte der Reaktor in Niederaichbach nach mancherlei Reparaturen und Umbauten nur etwa ein Drittel der vorgesehenen Leistung. Im Sommer 1974 wurde er stillgelegt. Dieses Ereignis wurde in der Öffentlichkeit lebhaft besprochen und kritisiert. Im Vergleich zu den großen Rückschlägen in anderen Ländern waren aber die Kosten, die hier nur scheinbar erfolg-

los aufgewendet wurden, im Grunde genommen gering. Angesichts der gesamten günstigen Entwicklung in der Bundesrepublik sollte solches Lehrgeld gerecht beurteilt werden. Ohne Rückschläge oder Mißerfolge geht es in einer technischen Entwicklung nun einmal nicht.

Die Entwicklung der Natururan-Schwerwasserlinie scheint damit in Deutschland einstweilen beendet zu sein. Immerhin ist durch den Bau in Argentinien bewiesen worden, daß die technischen Voraussetzungen dazu gegeben sind. Der Reaktor Atucha 2, der inzwischen durch eine kanadische Firma errichtet wird, ist gleichfalls ein Natururan-Schwerwasserreaktor.

In Kanada ist die ursprüngliche Entwicklung der Natururan-Schwerwasserlinie bis heute fortgesetzt worden. Die dort vorhandenen großen Uranlagerstätten sind eine entscheidende Stütze für eine rohstoffunabhängige, eigenständige Entwicklung gewesen. Die Kanadier errichteten zunächst kleinere und mittlere Reaktoren und konnten Aufträge aus Indien, Argentinien und Pakistan erhalten. Schließlich war der CANDU-Typ der Übergang zu großen Einheiten.

Der CANDU-Reaktor unterscheidet sich vom Leichtwasserreaktor, wie er jetzt in Amerika und in der Bundesrepublik gebaut wird, durch das fehlende Reaktordruckgefäß, in dem sich sowohl die Brennelemente als auch das Kühlmittel befinden. Die Brennelemente sind beim CANDU-Reaktor in waagerechten Druckröhren untergebracht, durch die Wasser als Kühlmittel fließt. Die Druckröhren befinden sich im Reaktorgefäß, das seinerseits den Moderator – also Schweres Wasser – enthält und nicht für hohen Druck ausgelegt ist.

Inzwischen wurde eine größere Zahl von Kraftwerken dieser Art errichtet. Zunächst war es das Pickering-Kernkraftwerk am Ontario-See mit vier Einheiten von je 514 Megawatt, die zwischen 1971 und 1973 in Betrieb kamen und eine ausgezeichnete Verfügbarkeit aufweisen. Im Bau befindet sich ein weiteres Kraftwerk mit vier Einheiten à 732 Megawatt und ein anderes mit zwei Einheiten à 750 Megawatt. Sie alle sollen bis 1979 in Betrieb sein. Weitere sind geplant. Insgesamt sind auf der Welt zur Zeit CANDU-Reaktoren mit rund 20000 Megawatt in Betrieb, im Bau oder in Planung.

Ob auch bei größeren Einheiten von 1200 Megawatt und mehr, wie sie jetzt bei Leichtwasserreaktoren erreicht werden, die CANDU-Reaktoren noch konkurrenzfähig sind, läßt sich nicht vorhersagen. Auch in Kanada scheinen daran Zweifel zu bestehen. In jedem Fall aber ist die bisherige kanadische Entwicklung sehr erfolgreich gewesen.

Die Größe findet bald ihre Grenze

Eine Grenze für die Entwicklung der Natururan-Schwerwasserreaktoren, soweit sie nicht vom Druckröhrentyp sind, liegt in der Größe der Druckkessel. Bei einer weiteren Steigerung der Kraftwerksleistung müßten sie riesige Dimensionen annehmen. Ob die Reaktorbauer über die jetzige Größe, wie sie in Biblis beim Leichtwasserreaktor angewendet wird, von 5,50 m Durchmesser und mehr als 500 Tonnen Gewicht noch hinausgehen können, ist fraglich. Die Druckkessel der Schwerwasser-Reaktoren aber müßten wegen der Verwendung des Natururans noch größer werden als ein Leichtwasserreaktor derselben Leistung. Das ist einer der Gründe dafür, daß in den USA und in der Bundesrepublik heute dem Leichtwasserreaktor der Vorzug gegeben wird. Die Frage der Verwendung von Druckröhrensystemen wird in Kanada anders gesehen als in Amerika und Deutschland. Beim Druckkesseltyp wird die Neutronen- und Gammastrahlung teilweise dadurch abgeschirmt, daß das Core von einer Wasserschicht umgeben ist. Sie enthält unter Umständen zusätzliche Eisenwände, die jedoch nicht mit Druck belastet sind. Dadurch ist der äußere Druckkessel gegen die Strahlung gut abgeschirmt. Andererseits aber befinden sich die druckführenden Teile beim Druckröhrenreaktor im Innern des Reaktorcores. Sie müssen einerseits wegen des Druckes aus Stahl angefertigt werden und sind andererseits der intensiven Neutronen- und Gammastrahlung ausgesetzt. So werden sie sehr stark beansprucht und in ihrer Lebensdauer gefährdet. Außerdem absorbieren sie viele Neutronen. Hier liegt ein weiterer Grund dafür, daß man in den USA und in Deutschland den Druckkessel- vor den Druckröhrensystemen den Vorrang gibt.

Bisher sind die Kanadier – bei der jetzigen Größenordnung der

Reaktorleistung – dieser Schwierigkeiten Herr geworden. Angesichts ihres Reichtums an Natururan sind sie auf Neutronenbilanz und Konversionsgrad nicht so sehr angewiesen. Es scheint aber, daß man auch in Kanada andere Möglichkeiten überlegt. Ob Kanada auch an Leichtwasserreaktoren denkt, ist noch nicht abzusehen.

Das letzte Wort über die Verwendung von Natururan und Schwerem Wasser ist noch nicht gesprochen. Niemand kann gegenwärtig genau sagen, was die Anreicherung des Urans wirklich kostet, da die entsprechenden Anlagen zunächst alle unter militärischen Gesichtspunkten errichtet wurden. Womöglich liegen die Kosten so hoch, daß sie dem Natururanreaktor wieder Vorteile verschaffen. Deshalb hat diese Enwicklung für alle Länder, die über große eigene Natururan-Vorräte verfügen, ihren besonderen Reiz. In solchen Ländern ist es auch fraglich, ob die großen Kapazitäten der Stromerzeugung in einem einzigen Reaktor wirklich das Optimum bringt. Sie können deshalb Interesse daran haben, kleinere Kapazitäten zu errichten. Ihre Entscheidung wird außerdem von der Überlegung abhängen, ob die Sicherheit der Belieferung mit angereichertem Uran gegeben ist oder nicht. Jedenfalls ist bemerkenswert, daß Kanada – bei seinem Reichtum an Wasserkraft, Erdöl und Erdgas – die Entwicklung der Kernenergie mit solcher Intensität betreibt und dabei im Vergleich mit der übrigen Welt einen eigenwilligen, offensichtlich aber auch erfolgreichen Weg geht.

Kapitel 6
Das erste Deutsche Atomprogramm

Im August 1958 trifft sich die Fachwelt in Genf zur Zweiten Internationalen Konferenz der Vereinten Nationen über die friedliche Anwendung der Atomenergie.

Wie schon 1955 prägen diplomatischer Stil und großzügige Repräsentanz das äußere Geschehen im alten Völkerbundpalast. 69 Länder haben über 5000 Teilnehmer geschickt, so daß selbst die große »Halle d'Assemblée« im Palast der Nationen nicht für alle Delegierten, Journalisten und sonstigen Teilnehmer ausreicht. Wiederum zieren die Teilnehmerlisten viele prominente Namen wie Cockroft, Bhabha, Hammarskjöld, Emiljanoff, Lise Meitner, Teller. Konferenzpräsident ist der Franzose Francis Perrin. Mitglieder der deutschen Delegation sind: Balke als Atomminister, Leo Brandt, Carstens, Heisenberg und Winnacker.

Auch jetzt zeigt etwa ein Drittel der vertretenen Länder in einer Regierungsausstellung ihre neuerlichen Fortschritte in allen Bereichen der Kerntechnik. Hauptattraktion sind die Forschungsgeräte, die die Vereinigten Staaten zur Demonstration ihrer Arbeiten auf dem Gebiet der kontrollierten Kernfusion aufgestellt haben, allerdings zum größten Teil als Modelle, darunter der Stellarator 8 der Universität Princeton. Seinen Namen hat er daher, daß die Magnetfelder in Form einer »8« angeordnet sind, um die Plasmateilchen auf der vorgesehenen Bahn zu halten. Auch die Sowjetunion wartet mit einem Fusionsexperiment »Orga« auf, das zur Einschließung des Plasmas den sogenannten »magnetischen Spiegeleffekt« verwendet. Der Laie war neugierig und sprachlos. Die Physiker, besonders die deutschen, waren unsicher, vorsichtig und auch skeptisch. Doch sie besaßen schließlich wenige oder überhaupt keine experimentellen Erfahrungen auf diesem Gebiet.

Beeindruckend ist, daß die USA einen »Argonaut«-Forschungsreaktor während der Konferenz montieren und in Betrieb nehmen. Am 6. September um 13.00 Uhr wird der Reaktor auf Leistung gebracht. Konferenzteilnehmer dürfen mit ihm »spielen« und erhalten zur Erinnerung einen »Ehren-Reaktor-Führerschein«.

Die Situation hat sich gegenüber 1955 sehr verändert. Im Bereich der Kernenergie sind Wissenschaft und Technik zu einem regen, weltweiten Gedankenaustausch gekommen. Die Nationen, die als erste ihr überlegenes Wissen erworben hatten, besonders die USA und Großbritannien, sind inzwischen Schritt für Schritt aus ihrer Reserve herausgetreten.

Was 1955 noch als sensationelle Preisgabe von Staatsgeheimnissen empfunden wurde, war nun wissenschaftliches Allgemeingut. Gerade in diesem Jahr 1958 hatten die USA noch einmal die Atomgesetzgebung liberalisiert. Auf Tagungen und bei internationalen Reisen hatten sich zahlreiche persönliche Kontakte ergeben. Es gab ein Bündel internationaler Verträge über Lieferungen von spaltbarem Material und Erfahrungsaustausch. Kernphysik und Kerntechnik hatten sich rund um die Erde zu einem breiten Wissens- und Forschungsgebiet ausgewachsen. So besuchten die Physiker, die aus allen Himmelsrichtungen im August 1958 nach Genf kamen, nicht nur den amerikanischen Reaktor und die Fusionsexperimente, sondern auch CERN, das europäische Zentrum der Hochenergiephysik, um den Baubeginn des großen Protonenbeschleunigers zu besichtigen, der ein weiteres Symbol des Wachsens der Kernwissenschaften ins Großtechnische darstellt.

Im Vordergrund: die Kernfusion

Vielen schien es, als sei die schon vertraut gewordene Kernspaltung bald überholt. Die Schaffung der Wasserstoffbombe – welch schrecklicher »Fortschritt«! – zeigte auch dem Laien, daß man die Quelle der Sonnenenergie, nämlich Verschmelzung von Wasserstoffatomen zu Helium, auch auf unserer Erde nutzbar machen konnte. Dazu wären allerdings Temperaturen von annähernd hundert Millionen Grad notwendig. Diesen Prozeß mit gebändig-

ter Geschwindigkeit ablaufen zu lassen – welch eine Herausforderung für die Wissenschaft! Es gäbe dann in der Welt keine Energieknappheit mehr. Immerhin führten die Genfer Eindrücke zu dem Entschluß, nun auch in Deutschland mit Arbeiten zur Kernverschmelzung zu beginnen. Auch in der Bundesrepublik regten sich damals Stimmen, die meinten, man könnte bald zur technischen Ausarbeitung der Kernfusion übergehen.

Die deutschen Wissenschaftler allerdings waren eher der Ansicht, daß die technische Anwendung der Kernverschmelzung in diesem Jahrhundert nicht mehr bewältigt werden kann. Die Berichterstattung in der Deutschen Atomkommission von Arnulf Schlüter, damals Professor der theoretischen Physik an der Universität München, später wissenschaftlicher Leiter des Instituts für Plasmaphysik, führte wieder auf den Boden der Realitäten zurück. Es setzte sich die Auffassung durch, daß mit den dargebotenen Experimenten eine praktische Lösung des thermonuklearen Problems noch nicht näher gerückt sei.

Der Schwerpunkt der künftigen Arbeiten mußte daher notwendig weiterhin auf dem Gebiet der Kernspaltung liegen. Die Stimmung auf der Genfer Konferenz war freilich gedämpfter als drei Jahre vorher. Der Reiz des Neuen war etwas verblaßt. Es gab im Jahr 1958 keine großen Überraschungen, keine bedeutenden wissenschaftlichen und technischen Novitäten mehr. Immerhin: Industrie und Wissenschaft hatten sich kennengelernt und ihre Zielrichtungen für die nächste Zeit festgelegt.

Das Ausland war immer noch weit voraus. 1956 waren in England, vier Jahre später in den USA die ersten Kernkraftwerke in Betrieb gekommen, die elektrischen Strom an die Verteilungsnetze lieferten. Die Regierungen stellten in diesen Ländern dafür erhebliche Mittel zur Verfügung. Gleichzeitig waren die nukleare und thermonukleare Rüstung in vollem Gang. Auch Frankreich war im Begriff, in seine Rüstung Kernwaffen einzugliedern. Von den für rein militärische Zwecke allenthalben verfügbar gemachten Mitteln profitierte dort natürlich auch die friedliche Nutzung der Kernenergie. Das Ziel der Deutschen mußte es sein, soweit wie möglich an derartigen Fortschritten zu partizipieren. Hier boten sich auch gewisse Chancen.

Energiebedarf der Zukunft

In Europa hatte bis Jahresbeginn 1958 Euratom die Arbeit aufgenommen. Die Deutsche Atomkommission war schon in ihrer zweiten Sitzung am 2. März 1956 erstmals mit der Frage einer Europäischen Atomgemeinschaft befaßt worden. Bald nach dieser Sitzung der Atomkommission, nämlich am 21. April 1956, erschien der »Spaak-Bericht«, der vor allem das Problem der Deckung des rasch anwachsenden europäischen Energiebedarfs aufzeigte und den aus heutiger Sicht wohl zu weit gesteckten Plan entwarf, eine europäische Atomgemeinschaft mit dem Ziel einer westeuropäischen Kernindustrie zu gründen. Diese grundlegenden Ausführungen waren Anlaß für die Berufung der sogenannten »Drei Atomweisen«, die ihren Auftrag mit einem Brief der Regierungskonferenz für den gemeinsamen Markt und Euratom vom 16. November 1956 erhielten. Die Delegationsleiter hatten an diesem Tage auf Weisung ihrer Außenminister folgenden Beschluß gefaßt: »Die Außenminister beauftragen einen Ausschuß, bestehend aus den Herren Armand, Etzel und Giordani, der im Rahmen der Brüsseler Konferenz unter dem Vorsitz von Minister Spaak arbeiten wird, ihnen innerhalb von zwei Monaten über die Atomenergiemengen, die in nächster Zeit in den sechs Ländern erzeugt werden können, sowie über die zu diesem Zweck einzusetzenden Mittel Bericht zu erstatten . . .«

Förmlich mit seiner Bestellung erhielt der Ausschuß ein Passepartout, das ihm offiziell Zutritt zu allen zuständigen Behörden erlaubte. Das Ziel war, einen Überblick über die voraussichtliche Entwicklung des Energiebedarfs und des Energieaufkommens sowie über die geplanten Atomprogramme zu gewinnen. Auch die Vereinigten Staaten erklärten sich zu einer offenen Zusammenarbeit sofort bereit.

Die klassischen Energiequellen ergänzen

Der Bericht enthielt im wesentlichen die dann später verwirklichten wirtschaftspolitischen Grundsätze und das technische Konzept der europäischen Atomgemeinschaft. Für den Weitblick der Drei

Atomweisen sprach, daß sie keineswegs die bekannten Energieträger alsbald durch die Kernenergie ersetzen wollten. Sie gingen vielmehr davon aus, daß die klassischen Energiequellen Kohle, Wasserkraft, Öl und Erdgas sehr weitgehend ausgebaut und genutzt werden müßten und daß die Atomenergie im Hinblick auf den später wachsenden Bedarf zu entwickeln sei.

Die Bedarfs- und Kostenschätzungen dieses Berichtes basierten auf einer durchaus realistischen Fortschreibung der bekannten Indizes. Sie wurden jedoch durch die Entwicklung der letzten zwanzig Jahre inzwischen bei weitem übertroffen. Insbesondere die Entwicklung der Stromerzeugung in den Gemeinschaftsländern ist wesentlich schneller gewachsen, als damals vermutet wurde. In der Tendenz wurde jedoch die richtige Linie gesehen, als man mit schnell steigenden Energie- und Installationskosten rechnete. Die Drei Atomweisen haben bis 1967 Atomkraftwerke von 15 000 Megawatt gefordert und lagen damit gar nicht so falsch.

Die Prognosen waren im Hinblick auf den Energiebedarf in der Zukunft durchaus realistisch. Zunächst aber sprudelten die Erdölquellen reichlicher denn je. Die Erdölwirtschaft konnte gerade zu diesem Zeitpunkt, als die Welt über Jahre hinweg eine blühende konjunkturelle Entwicklung genoß und der Welthandel sich ungeahnt ausdehnte, jeden Bedarf decken. So nahmen dann auch viele den Bericht der Drei Atomweisen nicht so ernst, wie er es verdient hatte. Die Neigung, sehr rasch große Mittel für die Energieversorgung aus Kernkraft bereitzustellen, war in Ländern wie Deutschland ohnehin nicht so groß, obschon klar abzusehen war, welche Bedeutung der Kernenergie mehr und mehr zuwachsen würde.

Konsequenzen in der Bundesrepublik

1958 konnte die deutsche Delegation in Genf sicherer auftreten. Sie beteiligte sich, wenn auch noch zurückhaltend, mit eigenen Referaten und Diskussionsbeiträgen. Im Rahmen der internationalen Ausstellung der Regierungen gab es auch schon einen bescheidenen deutschen Stand mit einer Fläche von hundert Quadratmetern, der über Pläne informierte.

Dieser Ausstellungsstand fand wegen seiner guten architektonischen Ausgestaltung große Anerkennung. Der Münchener Forschungsreaktor, das »Atomei«, und ein Übersichtsplan des Kernforschungszentrums Karlsruhe mit dem FR 2 waren zu sehen. Daneben zeigten etwa fünfzehn deutsche Firmen Reaktorbauelemente und hochspezialisierte Apparaturen.

Die deutsche Wirtschaft hatte in Zusammenarbeit mit dem Atom- und dem Wirtschaftsministerium erste Vorbereitungen getroffen, um eine geeignete Form der Zusammenarbeit beim Aufbau der Kernenergie zu schaffen. Diese Schritte aber schienen einigen anderen Ländern ungewöhnlich; sie waren nicht von dem Dirigismus der staatlichen Behörden geprägt, wie er bei manchen Atommächten üblich war.

Die Verhaltensweise entsprach ganz dem Stil der damaligen deutschen Wirtschaftspolitik. Die Industrie hatte einen stürmischen Neuaufbau hinter sich; sie war befreit von den meisten Fesseln staatlicher oder internationaler Einflüsse. Nach rund dreißig Jahren konnte sie ihre Kräfte wieder frei entfalten und ging einen eigenwilligen, selbstbewußten und erfolgreichen Weg.

Eine Frage der Kosten

In der deutschen Elektrizitätswirtschaft gab es zwar – im Gegensatz zu vielen anderen europäischen Ländern – kommunale und staatliche Beteiligungen, im Grunde jedoch war sie privatwirtschaftlich organisiert und orientiert. Sie nahm die kerntechnische Entwicklung mit großem Eifer auf und verfügte bald auch über die entsprechenden Fachleute.

Im Gegensatz zu dem Gutachten der Atomweisen sahen die deutschen Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) die Möglichkeit der konventionellen Energieversorgung zumindest für die nächsten zehn Jahre in bezug auf Deutschland optimistischer. Sie vertraten den Standpunkt, daß man in diesem Jahrzehnt den Bedarf an Energie noch auf konventionelle Weise decken könnte. Dabei würden neben der Steinkohle auch die Braunkohle und in zunehmendem Maße Erdöl und Erdgas eine Rolle spielen.

Da die Energieversorgungsunternehmen privatwirtschaftlich rechnen mußten, waren sie selbstverständlich sehr auf den Strompreis bedacht. Sie verglichen sorgfältig den mutmaßlichen Preis der Kernkraftwerke mit dem der traditionellen Energieerzeugung. Dabei schnitt die Nuklearenergie gegenüber der konventionell erzeugten zunächst noch nicht so gut ab. Die Fachleute rechneten mit bis zu zwanzig Prozent höheren Energiekosten bei der Kernenergie, von denen sie allerdings annahmen, daß diese mit fortschreitender Entwicklung sinken würden. Deshalb bestand auch nicht unbedingt ein Anlaß, ein erstes Deutsches Atomprogramm zu forcieren. Niemand erwartete, daß seine Realisierung so rasch wie möglich zu einer hohen Stromerzeugung aus Kernenergie führen würde. In der Öffentlichkeit kam deshalb gelegentlich die Sorge auf, daß nun die Entwicklung der Kernenergie nicht mehr mit so großem Eifer betrieben würde. Dieser Auffassung mußte ständig entgegengetreten werden. Auf der anderen Seite hat die Vorsicht, mit der die Entschlüsse zur Verwirklichung des Programms gefaßt worden sind, weitgehend Kosten für Fehlentwicklungen vermieden. Ohnehin war damals bereits eines klar geworden: Die Entwicklungskosten für Reaktoren würden wesentlich höher liegen, als man zunächst angenommen hatte.

Schauplatz: Eltville am Rhein

Die konkreten Pläne für das Deutsche Atomprogramm entstanden im März 1957 in Eltville am Rhein. Im Gästehaus der Farbwerke Hoechst AG traf sich eine kleinere, von der Atomkommission einberufene Gruppe von Wissenschaftlern, Industriellen und Vertretern des Atomministeriums zu einer Klausurtagung, in der ein Atomprogramm formuliert werden sollte.

Ehe man dort mit einer Weinprobe das Ergebnis der Beratungen besiegeln konnte, mußte hart gearbeitet und diskutiert werden. Der Arbeitskreis beschäftigte sich zunächst grundsätzlich mit der Frage, in welchem Umfang die Atomenergie in den nächsten zwanzig bis dreißig Jahren genutzt werden könne. Daß eine vernünftige Ausnutzung des Urans nur mit Hilfe von Brutreaktoren möglich sein werde, war schon damals unbestritten. Die Zahl von

500 Megawatt, die sozusagen als Kennziffer für eine erste Entwicklungsstufe der Leistungsreaktoren in Aussicht genommen wurde, war keineswegs aus energiewirtschaftlichen Gründen gewählt. Sie sollte nur den Umfang der Arbeiten kennzeichnen, in die alle notwendigen Vorbereitungen für die künftige Entwicklung eingeschlossen sein sollten. Dabei wurde auch an den Export von Kernkraftwerken gedacht, eines der wesentlichen Ziele des Atomprogramms.

Das Atomgesetz war übrigens noch nicht verabschiedet, so daß bezüglich der rechtlichen Einbettung der vorgesehenen Entwicklung durchaus Unklarheiten bestanden. An der Sitzung nahmen Wissenschaftler und Techniker teil, die auch an der späteren Verwirklichung der Atomprogramme maßgeblich beteiligt waren: Heinz Maier-Leibnitz, TH München, der den Vorsitz führte, Wolfgang Finkelnburg, Siemens AG; Heinrich Mandel, RWE; Wolfgang Riezler, Universität Bonn; Rudolf Schulten, BBC; Josef Wengler, Hoechst; Alfred Boettcher, Degussa, und Leopold Küchler, Hoechst.

Fortgesetzt wurden die Beratungen am 29. März 1957 in Frankfurt im Rahmen einer Sitzung des Arbeitskreises Kernreaktoren der Deutschen Atomkommission unter dem Vorsitz von Wirtz, der in Eltville verhindert war. Während in Eltville seitens des Bundesministeriums für Atomfragen lediglich Regierungsdirektor Joachim Pretsch teilnahm, waren bei der Sitzung in Frankfurt alle zuständigen Referenten hinzugezogen worden. Hier kam man zu einer Übereinstimmung, die der Fachkommission III unterbreitet werden konnte. Große Unklarheiten bestanden noch über die Finanzierung, da der Bundeshaushaltsplan dazu naturgemäß noch keine Angaben enthielt. Man war sich bewußt, daß die beantragten Mittel das bis dahin für wissenschaftliche Forschung und Entwicklung übliche Maß bei weitem überstiegen. Unter Vorsitz von Winnacker faßte die Fachkommission III »Technisch-wirtschaftliche Fragen bei Reaktoren« der Deutschen Atomkommission am 2. Mai 1957 auf der Grundlage der Arbeitsergebnisse von Eltville und Frankfurt den entscheidenden Beschluß, der die Basis für das erste Deutsche Atomprogramm bildete.

Fast zehn Jahre später, am 3. Dezember 1965, traf sich der Ar-

beitskreis Kernreaktoren zu seiner 50. Sitzung – sozusagen ein Jubiläum – wieder in Eltville. Dabei wurde in einer ganz normalen Arbeitssitzung Bilanz gezogen. Wirtz als Vorsitzender konnte feststellen, daß sich die Konzeption, nach der man in der Atomkommission vorgegangen war, als richtig erwiesen hatte. Die Bundesrepublik Deutschland war dank eines gezielten und programmatischen Aufbaus von Kernforschung und -technik in eine Position gelangt, die den Vergleich mit Entwicklungen im Ausland nicht mehr zu scheuen brauchte. Die aktuelle Situation war gekennzeichnet durch den großen Finanzbedarf für das Reaktorprojekt Schneller Brüter und den Hochtemperaturreaktor.

Noch kein idealer Reaktortyp

Das Atomprogramm, das im Herbst 1958 nach der Genfer Konferenz noch einmal überprüft wurde, ging davon aus, daß es nach dem damaligen Stand der Technik in der Welt noch keinen idealen Reaktortyp gab, der technisch und wirtschaftlich mit den konventionellen Kraftwerken konkurrieren konnte. Trotzdem wurde der Kauf von Kernreaktoren für die Energieversorgung nicht ausgeschlossen. Verhandlungen mit den Vereinigten Staaten und England waren angelaufen. Solche Typen jedoch, die in anderen Ländern schon in Betrieb waren, sollten nicht in das mit staatlichen Mitteln geförderte Programm aufgenommen werden. Der Ankauf solcher Reaktoren sollte allenfalls insoweit gefördert werden, als das Atomprogramm nicht beeinträchtigt würde. Hierzu gehörte dann das allerdings noch sehr kleine Kernkraftwerk in Kahl, das vom Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk (RWE) schon im Jahre 1958 an die AEG, mit ihrer Partnerfirma General Electric, USA, in Auftrag gegeben wurde. Es leitete die deutsche Entwicklung auf dem Gebiet der Leichtwasserreaktoren ein, auf dem die USA einen großen Vorsprung hatten.

Das eigentliche Atomprogramm sollte sich auf all jene Reaktorlinien beziehen, die damals in Deutschland als aussichtsreich galten. Das war eine sehr anspruchsvolle Zielsetzung, die vielfach beanstandet wurde. Aber es war eben auch ersichtlich geworden, daß Wirtschaftlichkeit, in bezug auf Investitionskosten und Ausnut-

zung der kostspieligen Kernbrennstoffe, sowie der wünschenswerte thermische Wirkungsgrad noch weit entfernt waren.

Fünf verschiedene Reaktortypen umfaßte das 500 Megawatt-Programm:

1. Ein schwerwassermoderierter und -gekühlter Druckkessel-Natururan-Reaktor. Dabei war an die Weiterführung des FR 2 in Karlsruhe gedacht. Es war auch ein Druckröhrenreaktor ins Auge gefaßt, wobei die Frage des Kühlmittels noch offenblieb. Dabei sollten auch die nukleare Überhitzung zur Erhöhung der Dampftemperatur und schon ein höherer Konversionsfaktor in Aussicht genommen werden.
2. Ein fortgeschrittener, leichtwassermoderierter und gasgekühlter Reaktor. Hierbei sollte gleichfalls nuklear überhitzt und zugleich auch die Rückführung des Plutoniums berücksichtigt werden.
3. Ein fortgeschrittener, gasgekühlter, graphitmoderierter Reaktor mit Natururan, der durch Einsatz von schwach angereichertem Uran später auf höhere Leistung gebracht werden sollte.
4. Ein fortgeschrittener Hochtemperaturreaktor mit Gaskühlung und angereichertem Uran (Kugelhaufenreaktor).
5. Ein fortgeschrittener, mit organischer Substanz gekühlter Leistungsreaktor. Dabei sollte durch Wahl eines geeigneten Wärmeüberträgers der Druck im Core erniedrigt werden.

Keine starre Bindung ans Programm

Zu den damals diskutierten Vorschlägen gehörte auch ein Schiffsreaktor, der ursprünglich organisch moderiert und gekühlt sein sollte. Seine Leistung sollte vierzig bis fünfzig Megawatt betragen.

Bei dem Entwurf des Eltviller Programms war ausdrücklich erklärt worden, daß diese Projekte jederzeit gegeneinander ausgetauscht oder ergänzt oder auch verworfen werden könnten. Die zu dieser Zeit in Aussicht genommenen Reaktoren hatten jedenfalls zusammen eine Leistung von etwa 500 Megawatt.

Für die einzelnen Reaktortypen entstanden Planungsgruppen, die jeweils aus einer industriellen Gruppe, aus Mitarbeitern der Wissenschaft und aus den Kernforschungszentren bestanden. Diese Planungsgruppen hatten die Aufgabe, mit einem Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) zusammenzuarbeiten und eine Vorentscheidung über die Zweckmäßigkeit und die Bauwürdigkeit des jeweiligen Projektes zu treffen. Erst dann sollte die endgültige staatliche Entscheidung über die finanzielle Förderung gefällt werden. Schon die Bildung solcher Planungs- und Baugruppen erforderte beträchtliche Mittel, welche die Privatindustrie angesichts ihrer sonstigen Beanspruchung nicht in vollem Umfang aufbringen konnte. Im Atomprogramm mußten deswegen entsprechende Ausgaben vorgesehen werden.

Darin waren vor allem strenge Richtlinien für die Finanzierung der Planungsgruppen festgelegt; die Bundesregierung behielt sich vor, die Projekte weiterzutreiben, wenn privatwirtschaftliche Projektträger dafür nicht gefunden werden würden. Sie durfte auch die Ergebnisse der Planungsgruppen – unter Wahrung von deren Interessen und nach Anhörung der Beteiligten – veröffentlichen.

Der Staat war vorsichtig

Es wurde verlangt, daß nichtausschließliche Lizenzen gegen Entgelt an Dritte erteilt werden könnten, sofern die mit Bundesmitteln geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ohne solche Lizenzvergabe nicht zum Erfolg führen würden. Schließlich gab es noch den Vorbehalt, die vorgeschossenen Planungskosten aufzurechnen, wenn es später zum Bau des Projektes käme; ein Beispiel dafür, wie vorsichtig der Staat mit seinen Förderungsmaßnahmen damals war.

Im Programm war auch eine Vorkalkulation des Bedarfs an Kernbrennstoffen, Moderatoren und verschiedenen seltenen Metallen angestellt worden, die bisher nicht verfügbar waren. Wesentliche Bestandteile wie Natururan, Schweres Wasser, nuklearreiner Graphit, Zirkon und andere Metalle sollten innerhalb der Bundesrepublik gewonnen oder aus zugekauften Rohstoffen her-

gestellt werden. Das im Sommer 1957 abgeschlossene amerikanisch-deutsche Abkommen hatte zwar die Belieferung mit angereichertem Uran in gewissen Grenzen sichergestellt. Auch hatte sich das Verhältnis zwischen den USA und Deutschland sehr gebessert. Die Verhandlungen hatten aber auch daran erinnert, daß man entweder langfristig bei der Natururanentwicklung bleiben oder sich auf eine eigene Urananreicherung vorbereiten mußte, wollte man Kernenergiegewinnung in wirtschaftlichem Ausmaß betreiben. Entsprechende Überlegungen schlugen sich in den Beratungen der Deutschen Atomkommission nieder.

Schon jetzt zeigte sich eine Reihe von Problemen, die mit zunehmender Kernenergienutzung eine Lösung erforderten. Hierzu gehörte schon damals die Aufbereitung ausgebrannter Kernbrennstoffe, die Isolierung und Rückführung des Plutoniums sowie die Beseitigung der radioaktiven Rückstände.

Das Kernstück des Atomprogramms

Arbeiten über die Fragen der Sicherheit und des Strahlenschutzes wurden vorbereitet. Man erkannte auch sehr früh, daß schon jetzt für die vorgesehenen Kraftwerke geeignete Standorte gesucht werden mußten. Leider ging man an diese Aufgaben erst sehr viel später konkret heran.

Außerdem gab es einen Zeitplan, der sicherzustellen hatte, daß im Jahr 1965 Kernkraftwerke mit einer Leistung von ca. 500 Megawatt fertiggestellt sein würden. Das sollte dann der Zeitpunkt sein, zu dem Entscheidungen über Kernkraftwerke wirtschaftlicher Betriebsgröße gefällt würden.

Dieses Kernstück des ersten Deutschen Atomprogramms umfaßte also fünf Reaktoren, die dazugehörigen Kernbrennstoffe und den übrigen Rohstoffbedarf. Im Rahmen der Gesamtkonzeption kamen zu dem 500 Megawatt-Programm noch die Aufwendungen für die Forschung, die besonders großzügig waren. Auch die Mittel für die Beteiligung an den inzwischen entstandenen internationalen Organisationen waren erheblich, besonders für Euratom. Diese Ausgaben stiegen von Jahr zu Jahr. Weder der Minister noch die Deutsche Atomkommission hatten darauf nen-

nenswerten Einfluß, weil die Verpfichtung hierzu in den internationalen Verträgen festgeschrieben war.

Die endgültige Abrechnung für dieses Programm, dessen Kosten zu Beginn nicht genau veranschlagt werden konnten, umfaßte im Zeitraum von 1956 bis 1962, also in sechs Jahren, folgende Beträge:

Für die Grundlagenforschung	706 Millionen Mark
Für die kerntechnische Entwicklung und Forschung einschließlich Strahlenschutz und Sicherheit	470 Millionen Mark
Für Sonstiges und internationale Organisationen	276 Millionen Mark
Das machte einen Gesamtbetrag von	1452 Millionen Mark

»Kugelhaufenreaktor« für den Übergang

Die beträchtlichen Aufwendungen der Privatindustrie, die in dieser Zeit ihre Stäbe zusammenstellen mußte und ihrerseits große Forschungsaufgaben verfolgte, sind in diesen Kosten nicht enthalten.

Das Atomprogramm war also nur ein Rahmenplan. Es ließ alle Entscheidungen offen. Einzelne Schritte sollten mit der Atomkommission und dem Atomministerium vorher jeweils noch abgestimmt werden. Es war nicht etwa ein Fünfjahresplan, der mit all dem staatlichen Prestige belastet gewesen wäre, unter dem die kerntechnische Entwicklung in vielen Ländern leidet und dem eine staatliche Atombehörde immer ausgesetzt ist.

Die Verwirklichung verlief dann auch ganz anders, und zwar sowohl was die Auswahl der Projekte betraf als auch im Hinblick auf den zeitlichen Aufwand.

Die Firma Siemens entwickelte zunächst die in Karlsruhe begonnene Natururanlinie weiter.

Die AEG stützte ihre Arbeiten auf amerikanische Lizenzen und errichtete für das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk (RWE) den ebenfalls schon erwähnten Leichtwasserreaktor in Kahl.

In Erweiterung dieses 500 Megawatt-Programms entstand schon 1960, also noch innerhalb seiner Laufzeit, ein zusätzliches Entwicklungsprogramm für sogenannte fortgeschrittene Reaktortypen kleinerer und mittlerer Leistung. Hierzu gehörte zum Beispiel der 15 Megawatt-Hochtemperaturreaktor, der aufgrund einer Idee von Rudolf Schulten aus Göttingen unter dem Namen »Kugelhaufenreaktor« schon sehr früh entwickelt und im Eltviller Programm bereits in einer größeren Variante angesprochen worden war. Ein Firmenkonsortium, bestehend aus BBC und Krupp, nahm sich dieser Entwicklung erfolgreich an.

Reaktormodelle werden aussortiert

Nicht alle im Eltviller Programm enthaltenen Reaktortypen wurden verwirklicht, so zum Beispiel nicht das Projekt Nr. 3, der fortgeschrittene, gasgekühlte, graphitmoderierte Reaktor. Inzwischen hatte sich in Deutschland die Meinung gebildet, daß diese in England und in Frankreich betriebene Entwicklung auf lange Sicht unwirtschaftlich sein mußte.

Das Projekt Nr. 5, der Leistungsreaktor, der mit organischen Substanzen gekühlt werden sollte, hat in Deutschland – je mehr man sich damit beschäftigte – desto weniger Anklang gefunden. Man hatte von vornherein Bedenken, daß eine solche organische Substanz unter dem Einfluß von hoher Temperatur und Radioaktivität Zersetzungen unterworfen sein mußte. Das Problem der organisch gekühlten Leistungsreaktoren wurde vom Euratom-Kernforschungszentrum in Ispra weiter bearbeitet. Da der Erfolg ausblieb, gab man es schließlich auf.

Die von der Demag zusammen mit der amerikanischen Gesellschaft North American Aviation 1957 gegründete Firma Interatom entwickelte einen Leichtwasserreaktor nach dem Prinzip des Druckwasserreaktors, der dann als Antrieb des ersten deutschen Atomhandelsschiffes »Otto Hahn« verwendet wurde.

Das in diesem ersten Deutschen Atomprogramm in Aussicht genommene Ziel, bis zu seiner Vollendung eine in Kernenergie installierte Leistung von etwa 500 Megawatt zu entwickeln, wurde in Wirklichkeit nicht annähernd erreicht. Eine Bilanz im Jahr 1964

aus Anlaß der dritten Atomkonferenz und im Zuge der Vorbereitung eines zweiten Deutschen Atomprogramms faßte das bis dahin Erreichte zusammen. Dabei betrug die im Bau befindliche und fertiginstallierte Leistung in Kernkraftwerken in der Bundesrepublik etwa 340 Megawatt.

Ein wesentlich erweitertes Know-how

Doch gerade die Art der Formulierung und der Abwicklung dieses ersten Programms hatte ein gesundes Fundament für die weitere Entwicklung gelegt. Dank der intensiven und ausgedehnten Planungsarbeiten waren aus der Großzahl der Typen, über die zu Beginn der Kernenergie noch in der ganzen Welt diskutiert wurde, diejenigen ausgeschieden worden, die von vornherein keine Zukunft versprachen. Dadurch ist dem deutschen Steuerzahler viel Geld erspart geblieben. Andererseits gab es jetzt, im Jahr 1964, klare Vorstellungen über jene Reaktortypen, die nun gefördert werden mußten.

Die Natururan-Schwerwasserlinie hatte durch den Bau des FR 2 und des Mehrzweckforschungsreaktors einen bescheidenen, aber guten Erfolg erzielt. Es gab jetzt die Erfahrungen aus dem Eigenbau, nun mußte sich zeigen, ob diese Natururan-Schwerwasserlinie im Vergleich zu den Konkurrenztypen bessere Ergebnisse bringen würde. Auch die Beharrlichkeit der kanadischen Entwicklung hat ja bewiesen, daß solche Vorarbeiten zumindest nicht unsinnig waren. Sie haben den am Bau beteiligten Firmen wichtiges Know-how geliefert.

Der Kernreaktortyp, der nunmehr in großem Umfang weiter verfolgt werden mußte, war der Leichtwasserreaktor. Siemens und die AEG hatten mit amerikanischen Lizenzen begonnen und waren nun in Deutschland aus eigener Erfahrung in der Lage, Leichtwasserreaktoren mit immer größerer Kapazität zu errichten.

Alles, was sich für den Brennstoffkreislauf, die Beschaffung von Uran, die Reindarstellung des Urans aus den Erzen, die ersten Schritte der Anreicherung und auch die Wiederaufarbeitung als notwendig herausstellte, war nun eingeleitet und konnte die Basis für eine selbständige Reaktorindustrie liefern. Das Wichtigste an

diesem Programm war aber wohl, daß man sehr viel Geld für die Wissenschaft und Forschung aufgewendet hatte. Die ersten Forschungsreaktoren waren in Betrieb gekommen, die Kernforschungszentren hatten ihre Arbeit aufgenommen, den Universitäten und Max-Planck-Instituten waren beachtliche Mittel zugeflossen, so daß sie allgemeine Arbeiten im Bereich der Grundlagenforschung anfangen konnten. Dazu gehörte auch der Beginn der Arbeiten an der Kernfusion. In Karlsruhe aber waren die Pläne für das Projekt eines Schnellen Brüters herangereift.

Kapitel 7
Wiederbeginn der deutschen Kernforschung

Ob in den Atomzentren von Oak Ridge und Hanford, in den Laboratorien der Universitäten von Chicago oder Berkeley – der Besucher aus dem Deutschland der fünfziger und sechziger Jahre begegnete überall zwei amerikanischen Tugenden: Herzlichkeit und Gastfreundschaft. Dazu gehörten ebenso freimütige Gespräche über die Probleme von Wissenschaft und Technik.

Hier und da verspürte der Gast freilich auch einen Unterton jovialer Überlegenheit. Das war kein Wunder, wenn man den riesengroßen Vorsprung betrachtete, den die USA auf so vielen Gebieten errungen hatten. Bei aller Bewunderung für die einstigen wissenschaftlichen Leistungen der Alten Welt – die fast niemals fehlte –, die Amerikaner wußten sehr genau, wie weit sie Europa vorausgeeilt waren, und zwar auf den Gebieten der Raumfahrt, der Datenverarbeitung, der Biochemie und natürlich auch der Kernphysik und -technik.

Als die Deutsche Atomkommission 1958 über die endgültige Formulierung des ersten deutschen Atomprogrammes beriet, lag ihr ein zusammenfassender Bericht des Atomministeriums vor, der mit wenigen Zahlen die Gründe aufzeigte, warum die deutsche Forschung, zumindest in manchen Bereichen, so sehr des »Nachsitzens« bedurfte.

Der Krieg hatte von 32 Universitäten, Technischen und sonstigen wissenschaftlichen Hochschulen zwölf vollständig und acht bis zu 70 Prozent zerstört, nur sechs waren in vollem Umfang erhalten geblieben.

Die 39 Institute der Max-Planck-Gesellschaft, die inzwischen die Nachfolge der ehemaligen Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft übernommen hatten, waren von den Zerstörungen noch schlimmer be-

troffen. Hier hatten außerdem Verlagerungen des technischen Geräts die wissenschaftliche Arbeit lange Zeit gehemmt. Viele wertvolle Einrichtungen waren verloren.

Ähnlich sah es in den Laboratorien der Wirtschaft aus, die überdies einen großen Teil ihrer Basis in der Ostzone zurücklassen mußte. Das gilt besonders für die Nachfolge-Firmen der IG-Farben, aber auch für optische, elektrotechnische und feinmechanische Werke.

Schließlich war der Aderlaß nicht gering, den die deutsche Physik, aber auch andere naturwissenschaftliche Disziplinen, durch den Exodus der jüdischen Wissenschaftler während der dreißiger Jahre erfahren hatten. Eine erhebliche Zahl von den Männern, die in den USA auf naturwissenschaftlichem Gebiet führend waren, hatte einst entscheidend zur Weltgeltung der naturwissenschaftlichen Zweige der deutschen Universitäten beigetragen.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft entsteht

Nach der Verfassung der neuen Bundesrepublik Deutschland waren für den Wiederaufbau und die Unterhaltung der Universitäten wie auch der Max-Planck-Gesellschaft die Bundesländer zuständig. Sie hatten sich im März 1949 im Königsteiner Abkommen zusammengeschlossen, um die Kosten gemeinsam zu tragen. Zu den geförderten Gesellschaften gehörte auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Sie ist als Rechtsnachfolgerin der »Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft« entstanden und hatte im Hinblick auf die Förderung spezieller Forschungsaufgaben, vor allem junger Forscher, von jeher besondere Bedeutung.

Bund und Länder zusammen haben nach einer unvollständigen Schätzung im Jahr 1956 für die gesamte Förderung der Universitäten und aller wissenschaftlichen Institutionen – einschließlich des Etats für die Forschung zur Wehrtechnik – etwa eine Milliarde Mark ausgegeben. Die Zahl der Studierenden an den Universitäten, Technischen Hochschulen und allgemeinen Hochschulen belief sich zu dieser Zeit auf etwa hundertfünfzigtausend. Seit der Währungsreform von 1948 hatten sich die Ausgaben von Jahr zu Jahr erhöht. Insgesamt sind es bis 1956 fünf Milliarden Mark ge-

wesen. Das ist eine für die damalige deutsche Situation recht große, im Grunde genommen aber – gemessen an den USA – sehr bescheidene Summe.

Der Anteil, der auf den Bund entfiel, war gering. Der Bundesetat sollte zur allgemeinen Förderung von Wissenschaft und Forschung grundsätzlich nicht herangezogen werden. Der Bund versorgte lediglich einige bundeseigene Institute, allgemeine wissenschaftliche Einrichtungen, vor allen Dingen aber die Forschung auf dem Gebiet der Wehrtechnik, die für die neu entstehende Bundeswehr unerläßlich war.

Neue Generationen der Wissenschaft

Das größte Problem stellte sich damals mit dem Wiederaufbau der Universitäten. Sie hatten nun wieder mit der Arbeit begonnen und mußten mit völlig unzureichenden Mitteln die Generation der Kriegsteilnehmer und Nachkriegsstudenten ausbilden. In jenen Jahren sind dort die Menschen herangereift, die heute das Schicksal unserer Wirtschaft, der Wissenschaft und des Staates in Händen halten. Bei aller Kritik an unseren Universitäten sollte diese Leistung der ersten Nachkriegsjahre nicht vergessen werden.

Die geistige Restaurierung der Universität geschah zunächst nach den Vorstellungen der damaligen Generation und erneuerte einen Zustand, der dem Stil der klassischen Humboldtschen Universität entsprach. Es war nicht die Zeit für neue Konzeptionen. Internationale Vorbilder waren kaum bekannt. So waren die zuständigen Instanzen stolz auf das, was nun Schritt für Schritt erworben wurde. Gleichzeitig wurden die vertrauten Einrichtungen neu belebt. Professoren, Studenten und Freunde der Universitäten trafen sich gern wieder bei akademischen Feiern. Selbst die würdigen Talare tauchten noch einmal auf; zwanzig Jahre später wurden sie freilich unter Hohn und Spott für immer in die Kleiderkammer der Universitätsgeschichte verbannt. Man hatte in Deutschland kein rechtes Maß mehr für gewachsene Tradition; ein Zustand, der Ende der sechziger Jahre als unerträglich empfunden wurde und dann als Reaktion die Studentenunruhen auslöste.

Unter dem Druck der ungeduldigen Jugend der späteren Nach-

kriegszeit wurde die große deutsche Universitätstradition zunächst einmal stark angeschlagen, ohne daß brauchbare neue Ansätze gefunden worden wären. Als die große Koalition 1968 – unter dem Eindruck der Universitätsmisere – eine gesetzlich fundierte Kompetenz des Bundes schaffen wollte, war es fast zu spät. Das Hochschulrahmengesetz, das damals in Angriff genommen wurde, ist bis heute, Mitte 1975, nicht verabschiedet. Eine verfassungsmäßige Mehrheit wäre dafür wohl auch kaum zu finden.

An den Universitäten wie an den Max-Planck-Instituten war bald nach dem Krieg auch die Forschung langsam wieder in Gang gekommen. Sie litt jedoch unter völlig veralteten Einrichtungen; nirgendwo reichten die Mittel aus. Zudem waren deutsche Wissenschaftler jahrelang von der Außenwelt isoliert gewesen, sie hatten nicht mehr teilnehmen können am internationalen Gedankenaustausch. Schließlich fehlte es an wissenschaftlich ausgebildetem Nachwuchs. Woher hätte er in den Jahren des Krieges und der unmittelbaren Nachkriegszeit auch kommen sollen?

Es war in Deutschland damals wie heute sehr schwer, in die staatliche Verwaltungsmaschinerie einzugreifen. Seit eh und je wachen Bund und Länder eifersüchtig über die Einhaltung ihrer Zuständigkeiten, an denen sie die Abgrenzung ihrer Rechte und ihrer Macht genauestens ablesen. Eine Auflockerung ergab sich im Zuge der Förderung seitens der Wirtschaft: Vertreter der Wirtschaft konnten bei staatlichen Förderungsaufgaben große Aktivität entfalten, und kaum jemand war abgeneigt gegen Zuschüsse aus privater Hand. Professoren und Studenten waren in der Tat für solche Zusammenarbeit sehr aufgeschlossen.

So entstanden damals sehr nützliche Initiativen, die allenthalben mit Beifall aufgenommen wurden. 1950 z.B. wurde der »Fonds der chemischen Industrie zur Förderung von Forschung, Wissenschaft und Lehre« gegründet, in dem – freiwillig bereitgestellt von den Chemiefirmen und ohne Zweckbindung – jährlich ein Millionenbetrag durch Verfügung eines Kuratoriums an Professoren, Dozenten und Forschungseinrichtungen verteilt wurde. Dieser Fonds der Chemie war unter der Schirmherrschaft des Bundespräsidenten Theodor Heuss geschaffen worden.

Der »Deutsche Wissenschaftsrat«

Theodor Heuss, der für Kultur und Wissenschaft in der Bundesrepublik viel getan hat, erkannte das Problem der Forschung von seiner grundsätzlichen Seite her. Er schlug im Jahre 1957 die Gründung eines Deutschen Wissenschaftsrates vor. Aufgrund dieser Initiative kam es im September 1957 zu einem Abkommen zwischen Bund und Ländern, in dem die Aufgabe dieses Wissenschaftsrates umrissen war:

1. Erarbeitung eines Gesamtplanes für die Förderung der Wissenschaft auf der Grundlage der von Bund und Ländern im Rahmen ihrer Zuständigkeit aufgestellten Pläne und Abstimmung der Pläne des Bundes und der Länder aufeinander unter Bezeichnung der Schwerpunkte und Dringlichkeit.
2. Aufstellung eines Dringlichkeitsprogramms.
3. Angabe von Empfehlungen für die Verwendung derjenigen Mittel, die in den Haushaltsplänen des Bundes und der Länder für die Förderung der Wissenschaft verfügbar sind.

Dieser Rat sollte sich aus neununddreißig Repräsentanten der Wissenschaft, des öffentlichen Lebens, des Bundes und der Länder zusammensetzen. Dem Bundespräsidenten war vorbehalten, die Mitglieder dieses Wissenschaftsrates persönlich zu ernennen.

In solch bedächtigen Schritten mußte sich damals jede Initiative bewegen, wenn sie in unserem Staatswesen, das sich vorsichtig und zaghaft konstituierte, Erfolg haben wollte.

Auch der neue Atomminister, beraten durch die Deutsche Atomkommission, konnte kaum anders verfahren, zumal seine Kompetenz für die Kernenergie bis zum Jahre 1959 nicht durch ein Bundesgesetz bestätigt wurde. Hier waren die Möglichkeiten also ebenfalls beschränkt. Dabei lagen die Schwierigkeiten zunächst gar nicht so sehr im Mangel an materiellen Mitteln als vielmehr darin, überhaupt einen Start zu finden. Die dem neuen Atomminister in seinem ersten Etatjahr 1956 zugesprochenen 33 Millionen Mark konnten nicht einmal ausgegeben werden; sie verfielen, weil das

Haushaltsrecht des Bundes eine Übertragung auf das nächste Jahr nicht gestattete.

Ein Vorteil der Situation war damals einzig darin zu sehen, daß alle Beteiligten sich klar waren, es müsse jetzt gerade im Bereich von Forschung, Lehre und Ausbildung sehr viel geschehen, wenn die Überlegungen zur friedlichen Nutzung der Kernenergie Erfolg haben sollten.

Es galt, Gelände zu gewinnen

Nur einzelne deutsche Wissenschaftler und Industrielle hatten, als Atomkommission und Atomminister ihre Arbeit aufnahmen, Kontakte zur wissenschaftlichen Welt im Ausland. Schon vor und unmittelbar nach der Genfer Konferenz von 1955 war es einigen von ihnen möglich gewesen, an ausländischen Tagungen teilzunehmen und dort mit Kollegen in Verbindung zu treten. Sie durften dabei auf das ehedem beträchtliche Ansehen der deutschen Wissenschaft zählen.

Diese bescheidenen Anfänge mußten nun erweitert und untermauert werden. Wenn diese Wissenschaftler an der internationalen Entwicklung der Kernphysik jetzt auch überall teilnehmen konnten, so mußten sie allmählich eigene Beiträge mitbringen, die sich auf neue Forschungsergebnisse stützten. Dazu aber fehlte es an allem. Zuerst mußten Forschungseinrichtungen an Universitäten, wissenschaftlichen Instituten und wo immer möglich geschaffen werden, in denen man wirklich moderne Kernphysik und Kerntechnik betreiben konnte.

Die erste Gelegenheit zur Mitwirkung unserer Wissenschaftler bot sich in Genf. Im Jahre 1953, zwei Jahre vor der ersten Genfer Atomkonferenz, hatten die zur OEEC gehörenden Länder beschlossen, im Rahmen einer Europäischen Organisation für Kernforschung mit einem Aufwand von 120 Millionen Schweizer Franken eine zentrale Forschungsstätte zu bauen: »CERN« (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire). Die Bundesrepublik Deutschland sollte sich daran mit einem Anteil von ca. 21 Millionen Schweizer Franken beteiligen. Die tatsächlichen Kosten bis zur Fertigstellung im November 1959 beliefen sich dann auf etwa 240 Millionen Schweizer Franken.

Kernstück dieser Forschungsstätte sollte ein großer Teilchen-Beschleuniger werden, mit dessen Hilfe man weitere Geheimnisse der Elementarteilchen zu enthüllen und neue Elemente zu erzeugen hoffte.

Vorbild für Genf waren jene riesigen Beschleunigungsmaschinen, deren erste der amerikanische Physiker Ernest Orlando Lawrence in den dreißiger Jahren an der Universität von Kalifornien in Berkeley gebaut hatte.

Lawrence, Sohn norwegischer Einwanderer und um jene Zeit in Berkeley noch nicht dreißig Jahre alt, kannte die Arbeiten des russisch-amerikanischen Physikers George Gamow, der auf die Idee gekommen war, für den Beschuß von Atomkernen Protonen, die Ionen des Wasserstoffs, zu verwenden. Über elektrische Felder hatte Gamow den Protonen die hohe Energie gegeben, die für einen solchen Beschuß notwendig sind. Auch verschiedene andere Anordnungen waren entwickelt worden, mit denen Protonen mehr oder weniger erfolgreich beschleunigt werden konnten: etwa der Spannungsvervielfacher von Sir John D. Cockroft und Ernest Thomas Sinton Walton in Cambridge in England oder der Beschleuniger von Robert J. van de Graaf in Princeton in den USA.

Protonenbeschleunigung auf »Teilstrecken«

Besonders beeindruckt war Lawrence von einem Bericht über einen linearen Beschleuniger, den Rolf Wideroe 1928 in Deutschland konstruiert hatte. Lawrence und seine Kollegen nun wollten einen Beschleuniger, der über viele Millionen von Elektronenvolt verfügen sollte. Sie waren von der Überlegung ausgegangen, an Stelle einer einmaligen Beschleunigung mit Hilfe großer Spannungen im elektrischen Feld eine Vielzahl von kleineren Beschleunigungsschüben gleichsam hintereinanderzuschalten. In der vom Magnetfeld erzwungenen Kreisbahn der Protonen gab es »Teilstrecken«, auf denen die Protonen jeweils durch einen neuen Schub sozusagen auf höchste Touren gebracht wurden. So mußten die immer schneller kreisenden Teilchen spiralförmig nach außen geschleudert werden. Am Ende schossen sie mit gewaltiger Energie aus dem Beschleuniger heraus.

Bei der ersten seiner Versuchsapparaturen erzielte Lawrence mit 2000 Volt Spannung Strahlen von 80000 Elektronenvolt Energie; wenige Jahre später, 1932, erreichte er fünf Millionen Elektronenvolt. Der erste Elektromagnet hatte 28 cm Durchmesser, im Laufe der Zeit wuchsen diese Magneten – Lawrence schlug ursprünglich den Namen »Magnetic resonance accelerator« vor – bis auf gut sechseinhalb Meter (184 inches). Die Wissenschaftler tauften solche Beschleuniger »Zyklotrone«. Nachdem Lawrence und seine Mitarbeiter 1939 ihr 60-inch-Zyklotron konstruiert hatten, machten sie sich mit finanzieller Hilfe der Rockefeller Foundation daran, eine Maschine zu entwerfen, die über noch gewaltigere Kräfte verfügte. Dazu kamen später nicht nur weitere Zyklotrone, sondern auch die verschiedenen Synchrotrone, in denen Beschleunigungsfrequenz und Umlauf der Teilchen »synchronisiert« sind.

Längst werden die im Bereich von Milliarden von Elektronenvolt erzeugten Energien dieser Beschleuniger nur mehr in »GeV«, Giga-Elektronenvolt, gemessen. Ein GeV steht für eine Milliarde Elektronenvolt (in den USA heißt die entsprechende Abkürzung »BeV«, abgeleitet von der amerikanischen Bezeichnung »billion« für eine Milliarde). Ernest Orlando Lawrence, der während des Krieges in den USA an einer elektromagnetischen Trennung der Uran-Isotope arbeitete, erhielt für die Schaffung des Zyklotrons bereits 1939 den Nobelpreis, kurz vor seinem Tod auch noch den Enrico-Fermi-Preis.

Mit Hilfe der immer moderneren Beschleuniger wurden seit Ende der vierziger Jahre weitere Partikel im Atomkern nachgewiesen; die Existenz einiger davon war vorhergesagt worden, so die Gruppe der Mesonen; ihre Masse liegt zwischen der Masse der Protonen und der Neutronen. Der japanische Physiker Hideki Yukawa hatte ihr Vorhandensein schon 1935 prophezeit.

Neue Elemente durch das Zyklotron

Vor allem aber dienten die Teilchenbeschleuniger in Berkeley der Entdeckung neuer Elemente jenseits des Urans. Zu Neptunium (Element 93) und Plutonium (94), bei denen das alte Zyklotron

von Lawrence die entscheidende Rolle gespielt hatte, kamen 1944 das Element Americium (Am 95), 1946 Curium (Cm 96), 1949 Berkelium (Bk 97), 1950 Californium (Cf 98), 1954 Einsteinium (Es 99) und schließlich Element 100 (Fm), dem zu Ehren von Enrico Fermi der Name Fermium gegeben wurde.

In der zweiten Hälfte der fünfziger Jahre erzeugte die Berkeley-Mannschaft das Element 101 (Md, Mendelevium), das den Namen des russischen Physikers Dimitrij Iwanowitsch Mendelejew erhielt. Er hatte das Periodensystem der chemischen Elemente geschaffen. Nach der Entdeckung des Nobeliums (No 102) im Jahre 1957 wurde einige Jahre danach auch der Name des 1958 verstorbenen Ernest Orlando Lawrence im »Lawrencium« (Lr), dem Element 103, verewigt.

Bis zur Auffindung des Nobeliums sah es so aus, als ob die amerikanische Mannschaft in Berkeley, aus der besonders Alfredo Ghiorso genannt werden muß, geradezu darauf abonniert sei, die noch offenen Plätze im Periodischen System zu füllen. Das war nicht nur bei den Transuranen der Fall, sondern auch bei den drei Elementen, die innerhalb des traditionellen Periodensystems noch gefehlt hatten. Es waren die Elemente 43 (Tc, Technetium), 61 (Pm, Promethium) und 85 (At, Astatin). Sie wurden von Emilio Segrè, einem früheren Mitarbeiter von Fermi, der ebenfalls aus Italien nach den USA emigriert war, durch Bestrahlungen mit Hilfe des Zyklotrons hergestellt.

Ende der fünfziger Jahre traten jedoch die sowjetischen Kernforscher zu ihren Kollegen in Berkeley in harte Konkurrenz. Ihr Trumpf war ein neues 310-cm-Zyklotron, das im sowjetischen Forschungsinstitut in Dubna in der Nähe von Moskau arbeitet. Bei den Elementen 103, 104 und 105 – die Amerikaner nannten das letztere zu Ehren von Otto Hahn »Hahnium« – beharren die sowjetischen Physiker auf ihrem »Erstgeburtsrecht«.

Das »europäische« Synchrotron

Ob bei der Herstellung neuer Elementarteilchen neben den Amerikanern und Sowjets eines Tages auch einer europäischen Forschergruppe Erfolg beschieden sein wird, hängt weitgehend von

der Entwicklung bei CERN ab. Dort in Genf ging es von Anfang an um den Bau eines Protonen-Synchrotrons, das der größte Teilchenbeschleuniger der Welt werden sollte. An der Vorbereitung und am Aufbau dieses Beschleunigers arbeitete u.a. eine Gruppe von Heidelberger Kernphysikern unter Wolfgang Gentner mit vielen ausländischen Kollegen zusammen.

Eine so große internationale wissenschaftliche Aufgabe war für die meisten Europäer neu. Die Zusammenarbeit mußte nach völlig neuen Spielregeln geordnet werden. Schon die Wahl des Standortes Genf brachte seltsame Begleitumstände. Um Platz für den umfangreichen Bau der Speicherringe für das Protonen-Synchrotron zu schaffen, mußte ein kleines Stückchen französischen Bodens in Anspruch genommen werden, den Frankreich in einem Vertrag auf 99 Jahre an CERN verpachtete. Das war völkerrechtlich durchaus ein Problem. Auch die Vergabe der Lieferaufträge – wobei sorgfältig darauf zu achten war, daß alle Mitgliedsstaaten nach Können und Vermögen berücksichtigt wurden – war etwas Neues.

Gerade der Aufbau von CERN und die Inbetriebnahme dieser so schwierigen Anlage waren Prüfstein und Lehrbeispiel dafür, wie man im alten Europa doch noch zu weitreichender internationaler Zusammenarbeit kommen konnte. Dubna in der Nähe von Moskau war als ähnliche Forschungsstätte für die Comecon-Länder entstanden.

Im Brennpunkt der Hochenergiephysik stand damals unverändert die weitere Erforschung der Elementarteilchen – der Bausteine der Atome. Diesen Bestandteilen der Materie war, wenn man von dem vorhandenen Stand des Wissens weiter vordringen wollte, nur mit großem experimentellem Aufwand beizukommen. In den USA gab es bereits ringförmige und lineare Beschleuniger, in denen Protonen und Elektronen sehr hoher Energie neue Elementarprozesse erzeugten.

Zur Zeit der Konzeption von Genf verfügten nur die Amerikaner über betriebsfähige Apparaturen. Sie hatten bald nach Ende des Krieges Zeit und Geld genug gehabt, um sich solchen grundsätzlichen Forschungsarbeiten widmen zu können.

Nun war es nötig, auch in Deutschland solche Beschleuniger zu

errichten, denn nur auf der Grundlage eigener Forschungsarbeiten konnten seine Wissenschaftler im internationalen Konzert mitspielen. So war man in der Bundesrepublik schon 1957 zu dem Entschluß gekommen, ein Hochenergie-Elektronen-Synchrotron mit 6 GeV zu errichten. Standort sollte Hamburg sein.

Für dieses Gemeinschaftsprojekt von Bund und Ländern, DESY genannt (*D*eutsches *E*lektronen *S*ynchrotron), waren 45 Millionen Mark veranschlagt und ungefähr fünf Jahre Bauzeit vorgesehen. Tatsächlich ist es 1961 ohne große Anfahrprobleme in Betrieb gekommen. Sehr bald konnten mit seiner Hilfe wichtige Ergebnisse in die internationale Forschung eingebracht werden. Kleinere Beschleuniger entstanden in Heidelberg, Göttingen, Bonn und Mainz.

Das war ein bescheidener Anfang gegenüber dem großen Vorsprung der USA und der Sowjetunion, die inzwischen mit riesigen Vorhaben begonnen hatten. Aber es war wichtig, insbesondere auch für die Heranbildung neuer wissenschaftlicher Mitarbeiter in Deutschland.

Die Atomkommission hat all diese Pläne der Wissenschaftler von Beginn an gefördert. Es gab gerade in den ersten Sitzungen, wo um so vieles gerungen werden mußte, kaum Meinungsverschiedenheiten über die Notwendigkeit solch grundlegender Vorhaben. Einigkeit bestand darüber, daß dieses neue Arbeitsgebiet in ganzer Breite und Tiefe aufzunehmen war, wenn daraus auf lange Sicht ein Erfolg werden sollte.

Wachsende Größenordnungen

Wirtschaftliche Gesichtspunkte haben bei der Beurteilung von wissenschaftlichen Zielsetzungen, die dem Plenum der Atomkommission von der für die Forschung zuständigen Fachkommission II vorgelegt worden waren, keine Rolle gespielt. Die »Relevanz« der Forschung war noch nicht erfunden worden. Die Fachkommission II stand zunächst unter Leitung von Wolfgang Riezler, dem Direktor des Institutes für Strahlen- und Kernphysik der Universität Bonn. Nach dessen Tod übernahm Wilhelm Walcher, der Direktor des Physikalischen Instituts der Marburger Universität, den

Vorsitz. Die Deutsche Atomkommission verfolgte zielstrebig ihre Aufgaben, die mit der Max-Planck-Gesellschaft und der Deutschen Forschungsgemeinschaft gemeinsam erarbeitet und auf den internationalen Rahmen abgestimmt wurden.

Im gleichen Maße wie mit den Großforschungsgeräten neue Erkenntnisse gesammelt wurden, wuchs der Wunsch nach noch besseren und größeren Apparaten. Eine erste Erweiterung versprachen sich die Wissenschaftler von den Speicherringen sowohl bei CERN als auch bei DESY. Mit ihnen lassen sich zwar Protonen und Elektronen nicht weiter beschleunigen, aber mit der erreichten Energie speichern und dadurch in ihrer Dichte verstärken. Kreisen sie – wie das heute bei DESY, nach einer Investition von ca. 100 Millionen Mark, geschieht – in zwei übereinander geordneten Ringen in entgegengesetzter Richtung, dann prallen sie mit wesentlich erhöhter Energie aufeinander. Ebenfalls mit großem finanziellem Aufwand entstanden neue Blasenkammern, in denen die Bahnen der Elementarteilchen sichtbar gemacht werden.

Kritischere Diskussionen über diese Arbeiten gab es erst, als der Aufwand die Grenze der wirtschaftlichen Möglichkeiten in der Bundesrepublik Deutschland erreichte.

Über die USA und Rußland hinaus?

1967 gab es innerhalb der Atomkommission Beratungen über sehr große Objekte, die den Rahmen alles Bisherigen sprengen sollten. Im deutschen Raum planten die Physiker, einen 40-GeV-Protonenbeschleuniger zu bauen; sie begründeten das Vorhaben mit dem Hinweis, daß im engeren nationalen Gebiet ein Protonenbeschleuniger überhaupt nicht zur Verfügung stehe, und daß man, wenn schon überhaupt, jetzt bei einer solchen Größe angelangt sei.

Darüber hinaus wollten die Wissenschaftler mit den übrigen europäischen Ländern – gegebenenfalls innerhalb der CERN-Organisation – eine 300-GeV-Maschine errichten und damit die USA und die Sowjetunion, die mit dem Bau von Maschinen von 100 bzw. 200 GeV begannen, in den Schatten stellen. Hierbei ging es um eine Bausumme von 1,5 Milliarden Mark; jährliche Kosten einige 100 Millionen Mark.

Atomkommission wie Regierung waren sich darüber klar, daß solche Pläne weit außer dem Rahmen der deutschen Wissenschaftsförderung lagen. Selbst im Kreis der Physiker war man geteilter Meinung über Nutzen und Verhältnismäßigkeit solch großer Mittel.

Theoretische Physiker unter Führung von Werner Heisenberg stellten mit Recht die Frage, ob eine so große Apparatur, die noch dazu eine Bauzeit von mehr als 10 Jahren erforderte, rechtzeitig genug zur Verfügung stünde, um mit ihrer Hilfe die USA und die Sowjetunion, deren Maschinen ja früher in Betrieb genommen würden, tatsächlich zu übertreffen.

Die Befürworter des Projekts unter Führung von Wolfgang Paul, dem Direktor des Physikalischen Instituts der Bonner Universität, wiesen auf den hohen wissenschaftlichen Wert solcher Experimente hin. Sie waren der Meinung, daß man mit theoretischen Vorstellungen allein nicht weiterkomme.

Das Plenum der Atomkommission hörte diese Erörterungen mit großem Interesse. Man war sich der Schwere der Verantwortung bewußt und bemühte sich um nüchterne Erwägungen dessen, was angemessen sein könnte. Bei allem Niveau der Diskussionen wurde doch deutlich, daß es im internationalen Konzert auch um handfeste Interessen ging. So präsentierten Frankreich und Deutschland Standorte und Zusagen; sie wollten diese kostbare Einrichtung, die über Jahrzehnte ein Mittelpunkt wissenschaftlicher Arbeit sein würde, naturgemäß ins eigene Land holen. Frühzeitig erklärten die Engländer, daß ihnen ein solches Projekt zu teuer wäre. Auch die skandinavischen Länder und die Niederlande wiesen auf ihre finanziellen Grenzen hin. So kam es zur Bildung von internationalen Kommissionen und zu harten politischen und wirtschaftlichen Gesprächen.

Schließlich doch bei CERN in Genf

Drei Jahre später, im Oktober 1970, wurde der Atomkommission berichtet, daß eine vernünftige Lösung gefunden worden war. Man hatte sich entschlossen, auf das Gelände des Forschungszentrums CERN zu gehen, das allerdings für diese Zwecke vergrößert wer-

den mußte. Dort sollte mit einem Durchmesser von 2,2 km – statt ursprünglich 3 km – der Protonenbeschleuniger mit einer Energie von 200–300 GeV errichtet werden. Später wäre zu entscheiden, ob supraleitende Magneten technisch und wirtschaftlich verwendbar seien. Mit ihrer Hilfe könne man die Leistungsfähigkeit des Apparates um ca. 400 GeV vergrößern. Überdies könne der Zeitverlust, über den man vorher ständig geklagt hatte, nun durch eine kürzere Bauzeit aufgeholt werden. Die gesamte Einrichtung, die jetzt im Bereich des alten CERN errichtet wird, forderte nicht 3000, sondern nur 1000 Mitarbeiter. So konnten die Kosten um ein Drittel geringer angesetzt werden. Immerhin waren für das neue Projekt 1150 Millionen Schweizer Franken veranschlagt, von denen durch die bereits vorhandene Infrastruktur dann noch etwa 200 Millionen Schweizer Franken eingespart werden konnten. Der deutsche Anteil, der ursprünglich auf 450 Millionen Mark veranschlagt war, würde, wenn Großbritannien mitmachte, auf ca. 200 Millionen Mark heruntergehen.

Angesichts der langen Bauzeit hatte es sich gelohnt, drei Jahre darüber nachzudenken und dabei am Ende viel besser und wesentlich billiger davonzukommen.

Der 40-GeV-Protonenbeschleuniger im deutschen Raum mußte angesichts dieser internationalen Pläne zurückstehen. Statt dessen genehmigte die Atomkommission bereitwilligst den Bau eines Schwerionenbeschleunigers. Sie versprach sich von solch einem Gerät – das auf Anregungen von Christoph Schmelzer in Heidelberg zurückging – einen aussichtsreichen Weg ins Neuland, da die USA und die UdSSR auf diesem Gebiet erst relativ bescheiden angefangen hatten. Dank der großzügigen Hilfe des Landes Hessen, das bisher in bezug auf Großforschungseinrichtungen leer ausgegangen war, wurde dieser Schwerionenbeschleuniger dann in der Nähe von Darmstadt errichtet. Er ist im Sommer 1974 in Betrieb genommen worden.

Alle diese Überlegungen, welche der Grundlagenforschung im Bereich der Kernphysik dienten, haben den Verantwortlichen große Sorgen bereitet. Es war selbstverständlich, daß die Bundesrepublik Deutschland an dieser Entwicklung nicht vorbeigehen konnte, wollte man sie im internationalen Raum nicht in ein wis-

senschaftliches Schattendasein verweisen. Die Atomkommission mußte sich aber auch immer wieder vergegenwärtigen, daß diese Großzügigkeit dem eigentlichen Aufgabengebiet – nämlich der wirtschaftlichen Nutzung der Kernenergie – wenig oder gar nicht zugute kam.

Rückschauend bleibt jedoch zuzugeben, daß ein ausgewogener Weg gefunden worden war. Die eigentliche Kernenergieentwicklung, d.h. das Studium und die Nutzung des von Otto Hahn gefundenen Kernzerfalls ist nicht zu kurz gekommen.

Hilfestellung der Privatwirtschaft

Hier galt es zunächst einmal, alle jene Kräfte zu fördern, die überhaupt in der Lage waren, im Bereich der Kernenergie tätig zu werden. Die Zahl derer, die dafür in Betracht gezogen werden konnten, schien nur am Anfang groß. Als der erste Rausch verflogen war, waren es doch recht wenige, die wirklich etwas beizutragen hatten.

Fürs erste brauchten die wissenschaftlichen Forschungsinstitute und Universitäten Forschungsreaktoren, um überhaupt mit Neutronen arbeiten zu können. Erfreulicherweise ergaben sich recht schnell Initiativen der Bundesländer und der privaten Wirtschaft, die hier Abhilfe schafften.

Neben dem Vorhaben in Karlsruhe kam es sehr bald in Garching bei München zur Bestellung eines Schwimmbadreaktors mit auf 20 Prozent angereichertem Uran; wegen der eigenartigen Bauweise seiner äußeren Aluminium-Hülle bekam er bald den Spitznamen »Atomei«. Schon 1957 nahm er als erster Reaktor in Deutschland den Betrieb auf.

In Geesthacht/Hamburg wurde von der »Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt mbH« auf Initiative von Karl Schubert, Ministerialdirektor im Bundesverkehrsministerium, ein ähnlicher Schwimmbadreaktor errichtet. In Frankfurt entstand an der Universität – durch Initiative von Hoechst, des Landes Hessen und der Stadt Frankfurt – ein Institut für Kernphysik. Es erhielt einen homogenen Reaktor von 50 Kilowatt mit auf 20 Prozent angereichertem Uran, das als Uranylnitratlösung vor-

lag. Der Betrieb dieses Reaktors lag in den Händen von Werner Schütze. Ein gleicher Reaktor wurde in Berlin am Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung installiert.

Diese ersten Forschungsreaktoren kamen bis 1958 in Betrieb. Danach gab es noch eine größere Zahl weiterer Bestellungen, so daß 1964 gelegentlich der 3. Genfer Atomkonferenz schon 10 Reaktoren betrieben werden konnten, die der allgemeinen Ausbildung und Forschung dienten. Mit wenigen Ausnahmen kamen sie aus den USA; sie waren im Rahmen bilateraler Abkommen geliefert worden.

Unter den Bundesländern ging Nordrhein-Westfalen einen eigenen Weg. Der dort tätige Staatssekretär Leo Brandt begann bei Jülich in der Nähe von Aachen mit einer eigenen Kernforschungsanlage. Im Rahmen eines bilaterialen Abkommens mit Großbritannien wurden in Jülich zwei englische Reaktoren errichtet. Der kleinere mit der Bezeichnung MERLIN war ein Schwimmbadreaktor mit einer Wärmeleistung von 5000 Kilowatt und mit auf 80 Prozent angereichertem Uran, der andere mit der Bezeichnung DIDO war ein Schwerwasserreaktor mit auf 90 Prozent angereichertem Uran und einem verhältnismäßig hohen Neutronenfluß von $1{,}8 \times 10^{14} n/cm^2 sec$.

Nutzen der Vielfalt

Die Auswahl und Bestellung der meisten dieser Reaktoren erfolgte verhältnismäßig frühzeitig, deshalb etwas wahllos, da es zu diesem Zeitpunkt noch keine systematische Planung seitens der Atomkommission gab. Sehr bald aber erwies sich dieses voraussetzungslose Vorgehen als nützlich. Durch die Verschiedenheit der Modelle erhielt die deutsche Industrie, die sich jeweils an der Montage beteiligte, Einblicke in die unterschiedlichsten ausländischen Fabrikate. Bau und Inbetriebnahme in jenem sehr frühen Stadium vermittelten wertvolle Erfahrungen und trugen dazu bei, eine Nachwuchsgeneration heranzubilden, die an solchen kleinen Objekten vieles gelernt hat.

Als die Diskussionen und Beratungen sich auf zunehmende fachliche Kenntnisse stützen konnten, wurde über die Vorteile ei-

nes Material-Versuchsreaktors gesprochen, den man zur Prüfung von Legierungen und Brennelementen für notwendig hielt. Da solche Reaktoren, wie ein Blick über die Grenzen lehrte, sehr kostpielig zu werden drohten, wurden sie immer wieder zurückgestellt. Die Industrie hat sich mit dem Vorhandenen und mit Bestrahlungsmöglichkeiten in anderen Ländern helfen können. 1967 kam es in Verfolgung einer schon auf der dritten Genfer Konferenz 1964 entstandenen Idee zwischen Frankreich und Deutschland zu dem Beschluß, einen sogenannten Höchstflußreaktor in Grenoble zu errichten. Dieser Reaktor wurde von französischen und deutschen Technikern konstruiert und gebaut. Er enthält hochangereichertes Uran (93%ig) und wird mit Schwerem Wasser moderiert und gekühlt.

Dieses Projekt war ein typisches Beispiel dafür, daß manchmal diplomatische Umwege gegangen werden müssen. Als die Atomkommission davon erfuhr, waren die staatlichen Fördermittel gerade besonders knapp. Man fürchtete für die Verwirklichung des eigentlichen Programms. In der Diskussion erhielt das Projekt Grenoble den Spitznamen »Höchstüberflußreaktor«, zumal offenbar wurde, daß er der reinen Festkörperphysik dienen sollte, für Materialprüfungszwecke aber nicht geeignet war. Er ist dann doch ein sehr nützliches Instrument der gemeinsamen internationalen Forschung geworden. Bau und Inbetriebnahme erfolgten auf Initiative und unter Leitung von Heinz Maier-Leibnitz, später übernahm die Führung Rudolf Mössbauer.

Mit diesen Voraussetzungen konnten nun viele neue Wege beschritten werden. Die Reaktoren und Beschleuniger boten den Naturwissenschaftlern Möglichkeiten, auf die sie lange gewartet hatten. Es entstanden an vielen Stellen »heiße« Laboratorien, in denen die Wissenschaftler unter geeignetem Strahlenschutz bestrahlte Produkte und entstandene Isotopengemische aufarbeiten konnten. Auch Industrieunternehmen, wie z.B. Hoechst, Bayer und andere schufen sich solche Laboratorien, die nicht nur der eigenen Forschung, sondern inzwischen auch längst kommerziellen Zwecken dienen.

Neue Technik durch Radioisotope

Kennzeichnend für alle radioaktiven Strahlen ist, daß sie Materie durchdringen können, wobei sich jedoch die drei verschiedenen Strahlungsarten hinsichtlich ihres Durchdringungsvermögens sehr unterscheiden. Die α-Strahlen, sozusagen die schweren Brocken, können nur sehr dünne Schichten passieren, nicht einmal normales Papier. Bei den β-Strahlen bringen es die energiereichen immerhin schon fertig, durch mehrere Millimeter Metall zu gelangen. Am durchdringendsten sind die γ-Strahlen. Zur Abschirmung besonders energiereicher γ-Strahlen sind meterstarke Betonwände oder dicke Bleischichten notwendig.

Mit der Aussendung der Strahlen wandelt sich ein instabiler Atomkern um. Diese Erscheinung stellt den sogenannten radioaktiven Zerfall dar, der bei verschiedenen Elementen sehr unterschiedlich sein kann. Ein Charakteristikum des Zerfalls ist die sogenannte Halbwertszeit, der Zeitraum, in dem die Hälfte der Ausgangsmenge zerfallen ist. Dabei stellt man fest, daß die Halbwertszeiten von einer Sekunde und weniger, etwa beim Xenon 143, bis zu 4,5 Milliarden Jahren beim Uran 238 betragen können.

Durch Neutronenbestrahlung wird in den Kernreaktoren eine Vielzahl von Radioisotopen, richtiger als Radionuklide bezeichnet, hergestellt. Je nach Einsatzgebiet ist man daran interessiert, lang-, mittel- oder kurzlebige Substanzen zu verwenden, wobei man das Radionuklid entsprechend seiner Halbwertszeit auswählt. So werden kurzlebige Substanzen in der Medizin, speziell zur Diagnostik angewendet, während die langlebigen Radionuklide technisch bei Dicken- und Füllstandsmeßgeräten in Produktionsanlagen benutzt werden. Abgesehen von der Lebensdauer des Nuklids müssen dabei Art und Energie der Strahlung auf den jeweiligen Verwendungszweck genau abgestimmt sein.

In Deutschland hat insbesondere die im Jahre 1957 auf Initiative von Fritz Nallinger, Vorstandsmitglied von Daimler-Benz, gegründete Isotopen-Studiengesellschaft in Zusammenarbeit mit dem Kernforschungszentrum Karlsruhe sich zur Aufgabe gemacht, die Anwendung von Isotopen in der Technik voranzu-

treiben. Begonnen wurde mit dem Einsatz von Isotopen bei der Messung von Verschleißerscheinungen in Verbrennungsmotoren. In Karlsruhe wurde ein Institut gegründet, das auch heute noch umfangreiche Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Isotopenanwendung ausführt. Mitte der sechziger Jahre, als die Isotopen-Studiengesellschaft ihre Tätigkeit einstellte, wurde unter dem Kuratoriumsvorsitz von Wolfgang Koeck, damals technisch-wissenschaftlicher Geschäftsführer des Verbandes der Chemischen Industrie, die Betreuung dieses Instituts zeiweilig vom deutschen Atomforum übernommen, bis es in die Verantwortung des Kernforschungszentrums überging.

Steuerung von Produktionsvorgängen

Der Grundgedanke bei der Isotopenanwendung ist die Durchführung von Messungen in der Weise, daß das zu messende Material nicht mechanisch verformt oder beschädigt wird. So kann mit Hilfe einer Strahlenquelle und eines geeichten Strahlungsmeßgerätes die Dicke von allen möglichen Materialien, sei es Papier, Kunststoff oder Metall, exakt bestimmt werden. Die Kombination der Strahlenmessung mit Regeleinrichtungen gestattet die automatische Steuerung von Produktionsvorgängen.

Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Atomstrahlen in der Technik haben dort ihren besonderen Platz, wo wegen zu hoher Temperaturen, zu großer Ablaufgeschwindigkeiten des Vorganges oder wegen der Unzugänglichkeit einer Apparatur die Vornahme von Messungen mit Hilfe sonstiger Meßeinrichtungen nicht möglich ist, wie beispielsweise bei der Füllstandsmessung von Schmelzen in Hochöfen. Werkstoffprüfungen, Verschleißmessungen, Korrosionsuntersuchungen und nicht zuletzt Altersbestimmungen sind nur einige Anwendungsgebiete, in denen exakte Messungen sonst oft schwierig durchführbar wären.

Eine weitere interessante Anwendung von radioaktiver Strahlung ist die »sterile male«-Technik zur Bekämpfung von Insekten. Männliche Tsetsefliegen werden durch Bestrahlung unfruchtbar gemacht und ausgesetzt. Da die weiblichen Fliegen nur einmal kopulieren, die behandelten männlichen Fliegen aber durch gezielten

Einsatz ihren unbestrahlten Rivalen zuvorkommen, wird die Nachkommenschaft nach und nach reduziert.

Selbst vor der Untersuchung von Meeresströmungen macht die Isotopentechnik nicht halt. An Küsten, deren Uferbauten durch starke Strömungen gefährdet sind, setzt man radioaktiv markierten Seesand ein und beobachtet mit Strahlenmeßgeräten seine Wanderbewegung. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse über die Strömungsverhältnisse erlauben eine sachgerechte Verbesserung der Uferbefestigungen. Mit der Entwicklung und Anwendung dieser Methode hat sich das Radiochemische Labor von Hoechst unter der Leitung von Hans Götte, damals Vorsitzender des Arbeitskreises »Strahlenschutz bei Umgang mit radioaktiven Stoffen« der Deutschen Atomkommission, befaßt.

Die Medizin greift zu

Die USA besaßen auch auf dem Gebiet der Isotopenanwendung einen Vorsprung. So hatte E. O. Lawrence schon in den dreißiger Jahren 24-Isotope-Natrium in verhältnismäßig großen Mengen hergestellt, die sich als brauchbar für das Studium des Metabolismus, also der Stoffwechselvorgänge, erwiesen. Überhaupt zeigt sich die Humanmedizin als wichtiges Anwendungsgebiet für künstliche Radionuklide. Sie werden als Strahlenquelle und als Indikatoren benutzt. Lange bekannt als Hilfsmittel für die Diagnose innerer Krankheiten sind die Röntgenapparate; auch die Anwendung von Radiumpräparaten geht auf eine Zeit zurück, als man die Wirkungsmechanismen der Radionuklide nicht allzugut deuten konnte. Der besondere Vorteil in der Verwendung künstlicher Radionuklide als Strahlenquelle in der Medizin liegt darin, daß viele Untersuchungen ohne Beeinträchtigung des Patienten durchgeführt werden können. Man braucht sich nur daran zu erinnern, daß Röntgenaufnahmen von Herz oder Blutgefäßen nur möglich sind, wenn man die inneren Organe mit einem Kontrastmittel füllt. Wenn man anstelle des Kontrastmittels eine strahlende Substanz in das zu untersuchende Organ bringt, kann mit Hilfe eines Strahlenmeßgerätes die erkrankte Stelle in einer Abbildung sichtbar gemacht werden. Dasselbe gilt natürlich für eine Reihe an-

derer Organe, z. B. für die Lunge. Hier läßt man den Patienten ein radioaktives Gas, beispielsweise Xenon 133, einatmen.

Eindrucksvoll läßt sich die Eignung von strahlendem Material zum Zweck der Diagnose bei der Schilddrüse darlegen. 1938 war in Berkeley das Jod 131 gefunden worden, das für die Diagnose und die Therapie von Schilddrüsenerkrankungen genutzt wird. Diese Drüse braucht zur Ausführung ihrer Regulationsaufgaben Jod, das sie sich aus dem Blut des Organismus selbst besorgt. Nun weiß man, daß sich die Funktionsfähigkeit der Schilddrüse an der Geschwindigkeit des Jodstoffwechsels ablesen läßt.

Nimmt ein Patient eine Jodlösung zu sich, die auch radioaktives Jod 131 enthält, so kann man anschließend mit einem Strahlungsmeßgerät den zeitlichen Ablauf der Schilddrüsenfunktion ohne Beeinträchtigung des Patienten messen. Die Schilddrüse nimmt das in den Körper gelangte Jod innerhalb von 24 Stunden auf und gibt es etwa nach dem gleichen Zeitraum wieder ab. Im Stoffwechsel verhält sich das radioaktive Jod nicht anders als normales Jod, da es hier nur auf die chemische Gleichartigkeit des Isotops ankommt. Dauert der gesamte Stoffwechselvorgang länger, so liegt eine Unterfunktion der Schilddrüse vor; bei einem schnelleren Ablauf ist eine Überfunktion gegeben. – Ein anderes sehr eindrucksvolles Beispiel der Anwendung von Isotopen in der Medizin betrifft die Tumorchirurgie. Kurz vor der Operation eines Tumors muß der Patient eine Lösung mit Phosphor 32 einnehmen. Tumoren haben die Eigenschaft, Phosphorverbindungen sehr stark in sich anzusammeln. Es ist nunmehr möglich, während der Operation mit Hilfe von Meßgeräten festzustellen, ob der Tumor vollständig entfernt ist. Dies ist dann der Fall, wenn an der Operationsstelle die Aussendung von Strahlung nicht mehr feststellbar ist.

Kobaltstrahlen – auf Geschwülste gezielt

In Laienkreisen bekannter sind die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Strahlenquellen zu therapeutischen Zwecken. Kobalt 60-Quellen gehören zur Standardausrüstung fast aller Krankenhäuser. Sie dienen dazu, innere Organe, die von außen schwer oder überhaupt nicht zugänglich, jedoch von Geschwülsten befal-

len worden sind, zu behandeln. Die ärztliche Kunst besteht hier darin, den Strahl so gezielt aus einer geschlossenen Strahlungsquelle heraus auf den zu zerstörenden Tumor zu konzentrieren, daß der Organismus in der unmittelbaren Umgebung möglichst von Strahlen verschont bleibt. Da jedoch die Strahlung bei solchen Tumoren, die im Innern des Körpers liegen, die Oberfläche, also das Gewebe, durchdringen muß, ist man bemüht, durch genau berechnete Bewegungen der Strahlenquelle Verbrennungseffekte im gesunden Gewebe zu vermeiden.

Auch zu Therapiezwecken ist es daher erstrebenswert, die Strahlenquelle möglichst unmittelbar in die Geschwulst selbst einzubringen, wenn dies nur irgendwie möglich ist. Das Problem besteht hier darin, daß man die Strahlenquelle nach Aufnahme durch den Körper im allgemeinen nicht wieder entfernen kann. Wenn also radioaktive Stoffe zu Bestrahlungszwecken in den Körper aufgenommen werden müssen, beispielsweise durch die Blutbahn an die Stelle der Erkrankung gelangen sollen, verwendet man möglichst kurzlebige Radionuklide wie Phosphor 32 mit einer Halbwertszeit von vierzehn Tagen, während Gold 198 mit einer Halbwertszeit von zweieinhalb Tagen direkt an die erkrankte Stelle gebracht wird. Ein interessantes Anwendungsgebiet sind auch die Herzschrittmacher, deren Isotopenbatterien mit Plutonium 238 als Energiequelle ausgestattet sind.

Die Anwendung der Isotopen in der Medizin ist zu einer sehr umfangreichen Spezialwissenschaft herangereift. Besondere Verdienste auf diesem Gebiet hat Hugo Wilhelm Knipping, ehemals Direktor der medizinischen Universitätsklinik in Köln. Er kann als Pionier der Anwendung von Kernstrahlen in der Medizin in der Bundesrepublik Deutschland bezeichnet werden. Sein besonderes Verdienst besteht darin, unter Beachtung aller medizinischen Vorsichtsmaßregeln mit viel Verständnis diesen neuen Wissenszweig vorangebracht zu haben. Dabei ist es ihm gelungen, junge Wissenschaftler mit Begeisterung für dieses neue Arbeitsgebiet zu erfüllen. Er veranlaßte die Erstellung eines Spezialinstitutes in der Kernforschungsanlage Jülich. Die im Januar 1963 vom Deutschen Atomforum in München veranstaltete Tagung »Atomstrahlung in Medizin und Technik« ging auf seine Anregung zurück.

Mit C 14 ins Altertum

Für eine besonders interessante Verwendung von Isotopen erhielt 1960 der Amerikaner Willard Frank Libby den Nobelpreis für seine Altersbestimmung mit radioaktivem Kohlenstoff C 14. Sein Vorschlag, das Alter von kohlenstoffhaltigen Substanzen mit Hilfe des Gehaltes an C 14 zu bestimmen, hat in der Altertumsforschung, in der Kunstgeschichte und in der Ozeanographie größte Bedeutung gewonnen.

Wie viele Chemiker war auch Libby einer jener Männer, von deren Wirken die Öffentlichkeit meist nur auf Umwegen erfährt. Der Farmersohn des Jahrgangs 1908 hatte während des Krieges an einem speziellen Verfahren zur Trennung von Uranisotopen gearbeitet. Das war sein Beitrag zum Bau der ersten Atombombe gewesen.

Die glücklichere, weil friedlicheren Zwecken dienende Idee freilich hatte Libby kurz nach Kriegsende, als er schon am Institut für Kernforschung der Chicagoer Universität tätig war:

Bei dem Isotop Kohlenstoff 14, das 1940 erstmals von Samuel Ruben und Martin Kamen isoliert worden war, stellte sich heraus, daß seine Halbwertszeit viel länger war als bisher vermutet, nämlich fünfeinhalbtausend Jahre. Darüber hinaus war ein interessanter Effekt bekanntgeworden: Kohlenstoff 14 entsteht unaufhörlich dadurch, daß kosmische Strahlen mit dem Stickstoff der Atmosphäre zusammenprallen. Das aber hieß zugleich, daß auch im Kohlendioxid der Luft ständig C 14 vorhanden sein mußte. Damit wiederum mußten solche Spuren auch in Pflanzen zu finden sein, die ihrerseits atmen und Kohlendioxid zu sich nehmen.

Nun gibt es ja kein tierisches Leben ohne pflanzliche Vegetation. Demzufolge mußte auch tierisches Leben, das sich von pflanzlichen Organismen ernährt, Kohlenstoff 14 aufweisen. Kurzum, Kohlenstoff 14 war überall.

Stirbt jedoch ein Organismus, dann kann dessen Gewebe keinen Kohlenstoff 14 mehr aufnehmen. Was noch davon vorhanden ist, zerfällt langsam mit der Halbwertszeit von 5500 Jahren.

Stellte man nun die Menge an C 14 etwa in Holz, Textilien, in Pergamenten oder z. B. auch in Mumien jener Menge gegenüber,

die man in lebendem oder gerade abgestorbenem Material findet, dann mußte dieser Vergleich – aufgrund der jetzt bekannten Halbwertszeit des C 14 – Rückschlüsse auf das Alter eines Gewebes zulassen.

Die Schriftrollen vom Toten Meer . . .

Zwei Jahre hat Libby an die Ausarbeitung dieses Verfahrens verwendet, das er C 14-Methode oder Radiocarbonmethode genannt hat. Es versteht sich, daß auf solche Weise in der Geschichte unserer Erde vieles aufgehellt werden konnte: So z.B. ließ sich nachweisen, daß das Ende der Eiszeit – entgegen bisherigen Auffassungen – nicht schon 25 000, sondern nur 10 000 Jahre zurückliegt. Besonders bekannt wurde diese Radiocarbonmethode Anfang der fünfziger Jahre dadurch, daß das genaue Alter der Schriftrollen vom Toten Meer ermittelt werden konnte; es waren rituelle und alttestamentarische Texte aus dem zweiten vorchristlichen Jahrhundert.

Mit Libbys Methode ist ferner nachgewiesen worden, daß in den kurdischen Vorgebirgen des heutigen Irak schon vor 7000 Jahren Ackerbau getrieben wurde. Außerdem hat sich auf diese Weise herausgestellt, daß die sogenannte Sonnenpyramide in Teotihuacán in Mexiko, von der die Archäologen angenommen hatten, sie sei 15 000 Jahre alt, in Wirklichkeit erst vor 3000 Jahren errichtet wurde.

Die Strukturanalyse organischer Substanzen, das Studium ihrer Wirkungsweise im biologischen Geschehen der medizinischen, tierischen und pflanzlichen Welt mit Hilfe von Radioisotopen sind als wissenschaftliches Rüstzeug unentbehrlich geworden.

Heute sind radioaktive Substanzen in großer Vielfalt im Handel und finden eine ständig zunehmende Anwendung, insbesondere auch im Bereich der Medizin, der Diagnostik und Toxikologie. Kurzlebige Isotope macht man dem Forscher dadurch zugänglich, daß man ihm einen sogenannten Nuklidgenerator in die Hand gibt, mit dem er eine gewünschte kurzlebige Substanz mit Hilfe von Auswaschsäulen selbst gewinnen kann.

In den sechziger Jahren stand die »Strahlenchemie« stark im

Blickfeld. Durch Einwirkung von γ-Strahlung, wofür man vor allem das Radionuklid Kobalt 60 in Form von Großstrahlungsquellen von Kilo- bis Megacurie verwandte, wurden an praktischen Beispielen auch in Deutschland chemische Umsetzungen vorgenommen. Es ergaben sich keine wesentlichen Erfolge. Die Reaktionen, die unter solchen Bedingungen durchgeführt wurden, zeigten keine spezifischen Resultate, die man nicht auch mit herkömmlichen Mitteln erreichen konnte. Dagegen hat sich die Sterilisation, auch von Lebensmitteln, durch γ-Strahlung durchgesetzt. Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete der Strahlenchemie ist die Härtung von Kunststoffoberflächen geblieben, die mit energiereichen Elektronen aus Elektronenbeschleunigern erfolgt.

Die neuen Großforschungsanlagen

Je geringer die notwendige Starthilfe für die Universitäten und Max-Planck-Institute wurde, desto mehr entwickelten sich auch in Deutschland Großforschungsanlagen in Form nationaler Forschungszentren, wie man sie zunächst in diesem Ausmaß nicht geplant hatte. Es lag wohl in der Natur der Aufgabe und auch im Sinne der Geldgeber, daß diese Einrichtungen, die in ihrem Kostenbedarf schnell über die Möglichkeiten privater Unternehmen hinauswuchsen, am Ende ausschließlich von der öffentlichen Hand unterhalten, beaufsichtigt und geführt wurden. Bund und Länder regelten diese Situation so, daß in der Rechtsform einer GmbH, an welcher der Bund mit 90 Prozent und das gastgebende Bundesland mit 10 Prozent beteiligt waren, eine Gesellschafterversammlung und ein Aufsichtsrat das Geschehen lenkten.

Es blieb nicht aus, daß vor allem die Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich größer und größer wurden. Heute sind dort je etwa 3500 Menschen tätig. Dieses Wachstum erklärt sich zunächst aus der grundsätzlichen Aufgabe, in Zusammenarbeit mit der Industrie Reaktortypen zu entwickeln, die wie der Brüter und der Hochtemperaturreaktor in ihren Vorarbeiten über die Möglichkeiten privater Unternehmen weit hinausgingen.

Zu diesen Entwicklungsarbeiten gehörten umfangreiche Versuchsanlagen, Prototypreaktoren, spezielle Reaktoren für Null-

energie-Experimente, Großrechenanlagen und viele Hilfsabteilungen, die zur Verfügung stehen mußten, wenn die Voraussetzungen für einen Industriezweig eigener Prägung geschaffen werden sollten. Einen weiten Raum mußte auch die Materialforschung einnehmen. Das Verhalten von Metallen, Legierungen und Konstruktionselementen unter Strahlenbeanspruchung ist heute ein wichtiges Arbeitsgebiet der Großforschungsanlagen.

Wenn auch immer wieder darüber diskutiert wurde, wie groß diese Zentren eigentlich werden sollten, so wuchsen sie ganz von selbst, weil sie ständig neue Aufgaben zugewiesen bekamen. Dazu gehörten auch die Ausbildung und die Schulung in- und ausländischer Fachleute, eine universelle Dokumentation auf dem neuen Fachgebiet und ganz generell die wissenschaftliche Vertretung des Bundes in den zahlreichen internationalen Organisationen, die immer bedeutender wurden. Es war verständlich, daß die Wissenschaftler im Sinne der eigenen Weltgeltung teilhaben wollten an großen Themen der Forschung und Entwicklung, ohne die der geistige Zusammenhang mit dem internationalen Fortschritt verlorengegangen wäre.

Es ergaben sich in der schnellen und weitreichenden Entfaltung der Arbeit immer wieder Lücken, die sich mit vorhandenen Institutionen nicht ausfüllen ließen. Ein Beispiel war der Strahlenschutz. In den ersten Jahren, als noch fast alle Unterlagen aus dem Ausland übernommen werden mußten, wurden diese Arbeiten vom Max-Planck-Institut für Biophysik in Frankfurt ausgeführt. Es hat unter seinem Leiter Boris Rajewsky wertvolle erste Beiträge liefern können.

Um weiter in dieses Gebiet einzudringen, besonders auch zur wissenschaftlichen Ausarbeitung der Meßmethodik an bestehenden und neu zu erstellenden Anlagen, baute das Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung seine Organisation in dieser Richtung stark aus. Nachdem die Einrichtungen in Frankfurt nicht mehr als ausreichend betrachtet wurden, gründete das Ministerium in Neuherberg bei München ein speziell für diesen Zweck bestimmtes Forschungsinstitut, das von der Gesellschaft für Strahlenforschung mbH betrieben wird.

Dessen Arbeitsgebiet reicht heute allerdings über die Probleme

des eigentlichen Strahlenschutzes weit hinaus. Es ist jetzt eine umfangreiche Forschungsstelle für Strahlenbiologie, Molekularbiologie und Genetik.

Elftausend Menschen in der Kernforschung

Die Kernforschungszentren, zu denen neben Karlsruhe, Jülich und Neuherberg auch das Institut für Plasmaphysik in Garching, die Reaktorstation Geesthacht, das Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung in Berlin-Wannsee, das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg und die Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt gezählt werden, haben etwa 11000 Mitarbeiter. Die bisherigen Investitionen für ihre Einrichtungen und Betriebskosten betragen 4,8 Milliarden Mark, die laufenden jährlichen Kosten rund 600 Millionen Mark. Sie stellen ein großes wissenschaftliches Potential dar, in dem in einer Gemeinschaft von Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern alle Disziplinen vereinigt sind. Hier ist eine neue Form wissenschaftlicher Zusammenarbeit entstanden, wie man sie früher weder kannte noch benötigte. Diese Organisationsformen sind Merkmale einer neuen Zeit mit neuen Zielsetzungen, wie sie z. B. in den USA neben den nationalen Laboratorien Oak Ridge, Los Alamos und Argonne auch die NASA (National Aeronautics and Space Administration) für die Raumfahrt darstellt.

Sehr häufig wird die Frage gestellt, was mit diesen großen Organisationen geschehen soll, wenn ihre Ziele – die Fahrt zum Mond oder hier der Einsatz von Kernenergie – einmal erreicht sein sollten. Aus solcher Fragestellung resultieren im Grunde genommen auch die Probleme der Menschenführung, die in diesen Zentren auftreten.

Man muß aber wohl davon ausgehen, daß Projekte wie die Lösung der Energieversorgung nie völlig abgeschlossen werden können. Sie setzen sich fort und dehnen sich aus und wandeln sich, so wie das Zusammenleben der Menschen immer wieder neue technische Fragestellungen hervorruft. Wir können z. B. an die Fragen des Umweltschutzes, der Raumordnung sowie die vielschichtigen Überlegungen denken, die heute in sogenannte systemanalytische

Studien einbezogen werden. Großforschungszentren, deren Tätigkeitsfeld Grundlagenforschung und Anwendungstechnik einschließt, stellen ein Potential dar, dessen eine moderne Industriegesellschaft bedarf.

Die neuen Wege, die in diesen Großforschungszentren eingeschlagen werden, zeigen sich auch in neuen Formen der Kommunikation. Ein Ausdruck für das Mitteilungsbedürfnis der Kernforschungsrichtungen sind die Reaktortagungen, die seit 1969 vom Deutschen Atomforum, seit 1970 zusammen mit der mit ihm verbundenen Kerntechnischen Gesellschaft, jährlich abgehalten werden.

In den unterschiedlichen, divergierenden Themen des Atomforums, die unter dem Stichwort »Kernenergie« weite Gebiete unserer Naturwissenschaft und Technik, aber auch unsere gesellschaftspolitischen, außen- wie innenpolitischen Probleme umfassen, kommt zum Ausdruck, wie komplex technische und wirtschaftliche Fragen gesehen und behandelt werden. Bemerkenswert ist für die Änderung des Stils wie auch für den stark wachsenden Bedarf an Information, daß an einer solchen Tagung jährlich bis zu 1800 Menschen teilnehmen, die aus den verschiedensten Disziplinen kommen.

Die Kernforschungszentren haben eine gewisse Parallele in den Großforschungsabteilungen vieler weltwirtschaftlich orientierter Industrieunternehmen, die Tausende von Menschen unterschiedlichster Fakultät miteinander vereinigen.

Menschen so verschiedener Geistesrichtungen in der richtigen Weise zu beschäftigen, sie kreativ und produktiv zu erhalten, ist eine große Aufgabe. Das gilt für die freie Wirtschaft – die zu strengem Kostendenken gezwungen ist – ebenso wie für die staatlichen Institutionen. Hier liegen neuartige Führungsprobleme vor, deren Analyse noch in ihren Anfängen steckt.

Kapitel 8
Leichtwasserreaktoren

In Biblis am Rhein, nahe bei Worms, übertreffen gewaltige Bauwerke in ihrer Höhe und Masse nicht nur den ehrwürdigen Dom der alten Kaiserstadt, sondern auch alles, was jemals in dieser Gegend gebaut worden ist. Es sind Reaktorkuppeln und Kühltürme zweier Kernkraftwerke mit einer Leistung von zusammen 2500 Millionen Watt.

Wenn diese beiden Anlagen das ganze Jahr hindurch arbeiten könnten, würde ihre Leistung einer Menge elektrischen Stroms von 20 Milliarden Kilowattstunden entsprechen. Das wären etwa 10 Prozent der jetzigen Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland.

Diese zwei Großkraftwerke sind die zur Zeit größten Repräsentanten der Generation der Leichtwasserreaktoren. Solche Kraftwerke entstehen gegenwärtig in vielen Industrieländern und auch an verschiedenen Orten Westdeutschlands. Sie werden für die nächsten ein oder zwei Jahrzehnte die erste Entwicklungsstufe in der Nutzung der Kernenergie sein.

Daß die deutsche Industrie an solchen Projekten maßgeblich mitarbeiten konnte, daß sie Anlagen dieser Art aus eigener Kraft errichten und auch zum Export anbieten wird, das ist das Ergebnis internationaler Zusammenarbeit und großen Unternehmungsgeistes.

Frühzeitige Initiative der deutschen Wirtschaft hat dafür gesorgt, daß sie sich sehr bald, nachdem in der Bundesrepublik überhaupt an Kernenergie gedacht werden konnte, in diese Entwicklung der Leichtwasserreaktoren einzuschalten vermochte. Dies begann unmittelbar nach der ersten Genfer Atomkonferenz, als es noch keine Deutsche Atomkommission gab und schon gar keine

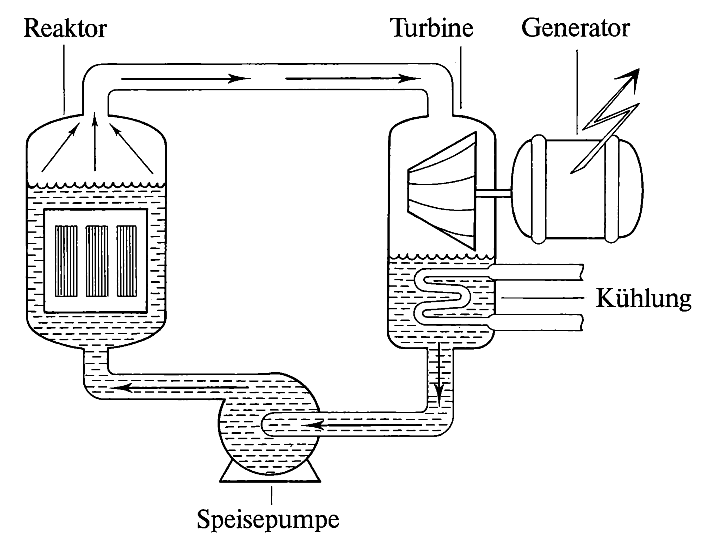
exakten Vorstellungen über ein deutsches Vorgehen. Es war auch später immer wieder von großem Vorteil, daß die Art der Arbeitsweise Raum für alle Formen von Initiativen ließ, die gleichwohl stets in eine gemeinsame Atompolitik mündeten.

Das Land der unbegrenzten Kapazitäten

So hat das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk (RWE), dessen Leiter damals Heinrich Schöller, später Helmut Meysenburg war, frühzeitig Verbindungen mit der General Electric in den USA aufgenommen, die ihrerseits in Deutschland enge Beziehungen zur Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft (AEG) unterhält. Die Vereinigten Staaten waren neben dem allgemeinen, zumeist militärischen Atomprogramm sehr früh dazu übergegangen, sich auf die wirtschaftliche Nutzung der Kernenergie vorzubereiten und deren Möglichkeiten in den verschiedensten Versuchsanlagen zu prüfen. 1956 gab es – unabhängig von den Reaktoren, die speziell für die Erzeugung von Plutonium für die Bomben ausgelegt waren – etwa fünfzig Reaktoren mannigfaltigster Art und Zweckbestimmung. Angesichts der reichlichen Versorgung mit Energie aus fossilen Rohstoffen und der großen staatlichen Mittel konnte man sich in den USA Zeit lassen für eine Entscheidung, wie auf wirtschaftlichstem Weg Strom aus Kernenergie zu gewinnen wäre. Es gab ja große Mengen von angereichertem Uran 235, und schon damals war zu übersehen, daß die Anreicherungskapazitäten den militärischen Bedarf überstiegen.

In dieser glücklichen Situation lag es nahe, normales Wasser als Moderator und Kühlmittel zu verwenden. Man konnte einfachste Konstruktionen ausdenken, die angereichertes Uran, in Brennelementen angeordnet – ähnlich einem Tauchsieder –, unmittelbar zur Erhitzung und Verdampfung von Wasser verwendeten. Dieser Weg war viel einfacher als der über Natururan, bei dem als Moderator und Kühlmittel Schweres Wasser benötigt wird. Dem Vorteil dieser Konstruktion standen allerdings die erhöhten Brennstoffkosten von Uran 235 gegenüber. Die Entscheidung fiel in dieser ersten Stufe der Reaktortechnik in den USA zugunsten der Leichtwasserreaktoren mit angereichertem Uran. Dies galt übri-

gens auch für die Schiffsreaktoren der U-Boote und Flugzeugträger. Alle anderen Möglichkeiten, etwa graphitmoderierte Reaktoren, Konstruktionen mit organischen Kühlmitteln usw., traten in den Hintergrund.



Siedewasserreaktor

Man unterscheidet bei Leichtwasserreaktoren zwei Typen. Im Siedewasserreaktor, dem einfachsten Typ, wird der im Core an den Brennelementen entwickelte Dampf unmittelbar an die Turbine abgegeben. Im Druckwasserreaktor steht das Wasser unter hohem Druck, kommt aber nicht zum Sieden. Es gibt seine Wärme über einen Austauscher an einen sekundären Kreislauf ab, in dem dann der Dampf erzeugt wird. Beide Typen sind in den USA entwickelt worden.

Es war für Deutschland von großer Bedeutung, Anschluß an diese Entwicklung zu bekommen, die ohne angereichertes Uran nicht angegangen werden konnte. Man hatte auch in Deutschland frühzeitig erkannt, daß Wasser als Moderator gegenüber dem System Graphit mit CO_2-Kühlung große Vorteile hat. Aber es gab zunächst kein angereichertes Uran. So wäre für eine völlig unab-

hängige Eigenentwicklung nur die Wahl des Natururans geblieben. Schweres Wasser ließ sich zur Not ohne fremde Hilfe in einem selbstentwickelten Verfahren herstellen.

Als die Deutschen eigenen Ideen zu folgen begannen und dabei wirkungsvolle Initiativen entfalteten, wuchs auch in den Vereinigten Staaten das Interesse für eine wirtschaftliche Zusammenarbeit, das bei der Atomkonferenz in Genf 1955 ja noch sehr gering gewesen war. Schon Ende 1955 gewährten sie großzügigen Einblick in das eigene Know-how, sie wurden auch aufgeschlossener in bezug auf die Lieferung fertiger Reaktoren.

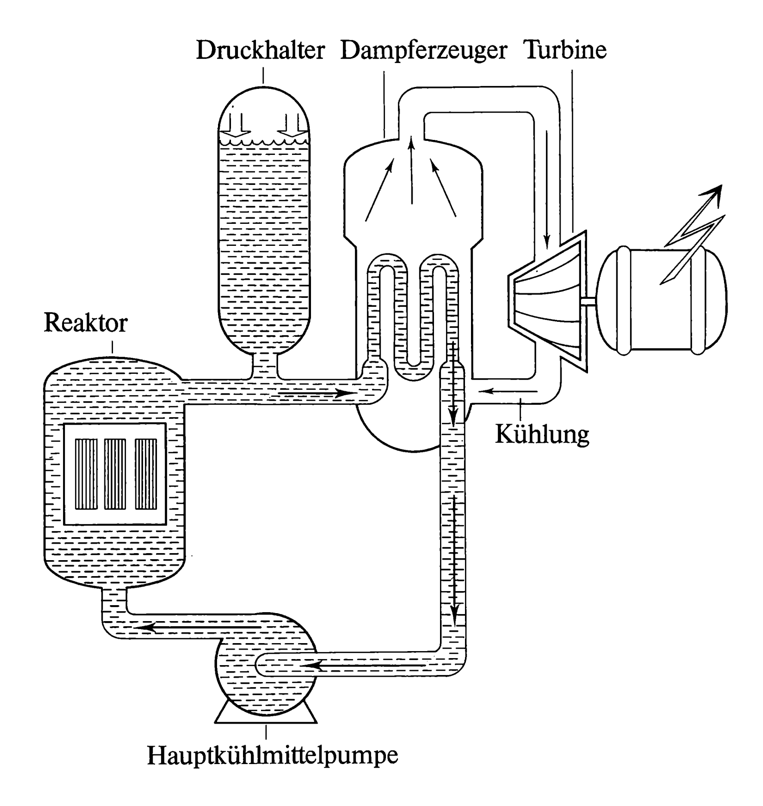
Grünes Licht für den ersten Reaktor

Nach dem 1956 erweiterten Vertrag zwischen den USA und Deutschland über die Lieferung von angereichertem Uran war der Weg für den ersten Leichtwasserreaktor frei. Die Elektrizitätsgesellschaften RWE und Bayernwerk schlossen einen Vertrag mit der General Electric. Der danach in Kahl am Main errichtete Reaktor vom Siedewassertyp hat eine elektrische Leistung von 15 Megawatt, entsprechend einer thermischen Leistung von 50 Megawatt.

Im zweiten deutschen Atomprogramm, das am 4. Mai 1963 von der Deutschen Atomkommission verabschiedet wurde, waren die Vorstellungen von der zukünftigen Reaktorpolitik schon wesentlich besser fundiert. Durch den »Eigenbau« in Karlsruhe und den breiteren Gedankenaustausch hatte sich wertvolles Erfahrungsgut gebildet. In den abgelaufenen acht Jahren waren in Deutschland acht Forschungsreaktoren verschiedenster Bauart in Betrieb gekommen, an denen Fachleute ausgebildet wurden. Man konnte jetzt Vergleiche anstellen und sich ein eigenes Urteil bilden.

In Karlsruhe war inzwischen mit dem Bau eines zweiten Natururanreaktors, des sogenannten Mehrzweckforschungsreaktors – MZFR –, begonnen worden, der außerdem dazu bestimmt war, eine Leistung von 50 Megawatt an das Stromnetz abzugeben.

Schon 1962 war von RWE und Bayernwerk der Ankauf eines Atomkraftwerkes von ca. 240 Megawatt beschlossen worden, das in Gundremmingen an der oberen Donau gebaut werden sollte.



Druckwasserreaktor

Die Errichtung dieses Kraftwerks entsprach dem Rahmen des Euratom-US-Kernkraftwerkprogramms und war die konsequente Fortführung der Praxis, die mit dem Bau des kleinen Kernkraftwerkes in Kahl aufgenommen worden war.
Wiederum handelte es sich um einen Siedewasserreaktor amerikanischer Herkunft, der nun aber mit seiner Betriebsgröße den in Deutschland gegebenen Verhältnissen schon wesentlich näher kam. Noch größere Kernkraftwerke wurden damals selbst in Amerika nicht entwickelt. Aus der Erkenntnis heraus, daß der Aufbau einer leistungsfähigen Industrie auch mit Hilfe von Reak-

toren gefördert werden kann, die im Ausland geplant und dort gebaut werden, hatte sich die Bundesregierung ihrerseits entschlossen, auch hier helfend mitzuwirken. Allerdings war diese Förderung gering; sie bestand nur in der Übernahme von Betriebsverlusten, in Abschreibungserleichterungen und Bürgschaften. Auch die Amerikaner waren an der Lieferung interessiert; sie gewährten einen Zahlungsaufschub für den ersten Brennstoffeinsatz. So kam der Vertrag sehr schnell zustande. Schon Ende 1962 wurde mit den Bauarbeiten begonnen. Drei Jahre später war das Kraftwerk in Betrieb. Seitdem liefert es die geplante Leistung an die öffentliche Stromversorgung mit einem außerordentlichen hohen Ausnutzungsgrad.

Dieser Reaktor von Gundremmingen gehört noch heute zu den zuverlässigsten Konstruktionen. Er arbeitet unverändert ohne wesentliche Störungen.

Otto Hahn plädiert für die Zukunft

Bei der Vorbereitung und Diskussion des zweiten deutschen Atomprogramms waren die Meinungen sowohl innerhalb der Deutschen Atomkommission als auch in der deutschen Öffentlichkeit außerordentlich geteilt.

Der 84jährige Otto Hahn nahm mit unveränderter Frische an der Sitzung vom 4. Mai 1963 teil. Er wandte sich lebhaft gegen den Pessimismus vieler Wissenschaftler, die meinten, der Vorsprung des Auslandes werde trotz aller deutschen Anstrengungen kaum aufzuholen sein. Er wandte sich auch dagegen, daß die Sicherheitsvorschriften bei den Arbeiten mit radioaktiven Strahlen die Forschung allzusehr behinderten. Manche der epochemachenden naturwissenschaftlichen Entdeckungen der Vergangenheit, so sagte er, wären unter den heutigen Bedingungen wohl nie zustande gekommen.

Alle, die Otto Hahns Depressionen nach dem Abwurf der Bomben und seine anfängliche Skepsis gegenüber den Bemühungen um die friedliche Nutzung der Kernenergie miterlebt hatten, waren glücklich darüber, daß er nun mit Leib und Seele für die Kernenergie eintrat.

Auch 1963 hielten in Deutschland viele die Entwicklung der

Kernenergie für nicht so dringlich. Kohle und Öl schienen für lange Zeit genug Primärenergie zu sichern. Ludwig Rosenberg, der durch seine Mitarbeit in der Leitung der Strahlenschutzkommission sehr viel für die Entwicklung getan hat, bangte seinerseits sogar um die Arbeitsplätze im Kohlenbergbau und in jenen Industriezweigen, die unter dem Einfluß der neuen Energiequelle ihre Arbeitsprogramme womöglich weitgehend würden umstellen müssen.

Das Atomprogramm sah für die fünf Jahre, für die es ausgelegt war, zweieinhalb Milliarden Mark als Beitrag der Bundesregierung vor. Das schien wenig Geld im Vergleich zu den Aufwendungen anderer Industrienationen; man kannte diese Beträge inzwischen genauer. Überdies war das Geld in keiner Weise durch einen Beschluß der Bundesregierung gesichert. Nach dem Haushaltsrecht des Bundes konnten Beträge über ein Jahr hinaus nicht genehmigt werden.

So wird wohl verständlich, daß die Vorbereitung jenes Programms zähes Verhandeln erforderte. Trotz aller Bedenken ist es von der Atomkommission schließlich einstimmig verabschiedet worden. Nach Ablauf seiner fünfjährigen Laufzeit waren statt der vorgesehenen zweieinhalb Milliarden Mark sogar knapp vier Milliarden ausgegeben worden, darin enthalten allerdings 700 Millionen von der Euratom-Gemeinschaft.

Leichtwasserreaktoren setzen sich durch

Die eigenen Reaktorpläne aus dem ersten Atomprogramm waren noch nicht realisiert. Aber es zeichnete sich ab, daß die USA mit ihren Leichtwasserreaktoren einen großen Vorsprung vor allen anderen hatten. So wurde es als sehr glücklich empfunden, daß die deutsche Industrie Anschluß an diese Entwicklung gefunden hatte.

Zweifel und Kritik gab es damals in bezug auf die staatliche Förderung dieser Leichtwasserreaktoren. Sie schienen wirtschaftlich weit gediehen. Mochte darum die Industrie ihre weitere Entwicklung allein betreiben. Wissenschaft und Forschung sollten sich dagegen auf fortgeschrittenere Reaktortypen konzentrieren.

Im Prinzip war diese Auffassung richtig, sie hat den Fortschritt der deutschen Kernenergieentwicklung beschleunigt. Man mußte trotzdem immer wieder einsehen, daß die Leichtwasserreaktoren gleichwohl noch viele technische Probleme brachten. Die öffentliche Hand mußte noch lange Zeit durch Zuschüsse, durch Vermittlung von Krediten und Bürgschaften Hilfestellung leisten. Auch die Kernforschungszentren wurden für die Vervollkommnung der Leichtwasserreaktoren weiterhin gebraucht. Obwohl einzelne Projekte im Programm nicht genannt waren und der Ausdruck Leichtwasserreaktoren gar nicht vorkam, empfahl die Kommission auf Vorschlag von Hermann J. Abs, der die Fachkommission »Wirtschaftliche, finanzielle und soziale Probleme« vertrat, ausdrücklich den Bau zweier großer Leichtwasserreaktoren außerhalb des schon beschlossenen Werks in Gundremmingen mit staatlicher Hilfe.

Die Weltöffentlichkeit hat dieses Programm aufmerksam verfolgt. Immerhin sollte hier die Hälfte der überhaupt für kerntechnische Entwicklungen in Betracht kommenden Summe für die Förderung der Forschung aufgewandt werden. Es war allgemein das Kennzeichen jener ersten Jahre, daß Forschung, technische Weiterentwicklung und Ausbildung weit im Vordergrund standen.

Wachsendes deutsches Selbstvertrauen

An der dritten Genfer Atomkonferenz – vom 31. August bis 6. September 1964 – nahmen die deutschen Teilnehmer erneut mit eigenen Vorträgen und mit einer eigenen Ausstellung teil. Das Wichtigste aber war wohl, daß sie ihre Programmvorstellungen nun wieder einmal mit der internationalen Fachwelt diskutieren konnten. Diese Gespräche zeigten, daß sie auf dem richtigen Weg waren.

Die deutsche Industrie hatte über den eigentlichen Reaktorbau hinaus eine große Auswahl von Betriebsteilen, Meßinstrumenten und Laboratoriumsgeräten zu bieten. Sie stellte Brennelemente und wichtige Konstruktionsteile für Reaktoren, vor allem aber auch Modelle der in Deutschland gebauten und geplanten Reaktoren aus, die große Aufmerksamkeit hervorriefen. Die deutschen

Teilnehmer konnten jetzt mit sehr viel mehr Selbstvertrauen auftreten.

Während das amerikanische Know-how für Leichtwasserreaktoren sich zunächst bei den Projekten von Kahl und Gundremmingen bewährte, suchte die deutsche Industrie bald schon den Stand ihrer Technik zu verbessern und zu eigenen, vom Ausland unabhängigen Erfahrungen zu kommen.

Kühlwasser erwärmt die Flüsse

Ein schwerer Nachteil der Leichtwasserreaktoren gegenüber den Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen ist die niedrige Temperatur des erzeugten Dampfes. Während die traditionellen Kraftwerke – nach dem heutigen Stand der Technik – überhitzten Dampf mit Temperaturen von 500 bis 600 °C an die nachgeschaltete Turbine abgeben, liefert der Wasserreaktor nur einen Sattdampf von 250 bis 300 °C. Infolgedessen ist die Wärmeausnutzung verhältnismäßig gering. Im traditionellen Dampfkraftwerk muß man 1,2 kWh als Wärme im Kühlwasser vernichten, um 1 kWh elektrischen Strom zu gewinnen; der Leichtwasserreaktor erfordert dagegen 1,6 kWh, hat also einen sehr viel schlechteren thermischen Wirkungsgrad. Dieser größere Abwärmeverbrauch muß vom Kühlwasser aufgenommen werden und führt deshalb zu einer entsprechend höheren Erwärmung der Flüsse.

In dichtbesiedelten Industriegebieten ist diese Erwärmung der Flüsse ein ernstes Problem geworden, um das sich der Umweltschutz besonders bemüht. Daß die Leichtwasserreaktoren dabei nicht besonders günstig sind, macht den Widerstand der Gegner der Kernenergie verständlich und ist tatsächlich ein gewichtiges Argument, wenngleich es in der Öffentlichkeit oft überschätzt wird. Die Kernkraftwerke werden zudem aus wirtschaftlichen Gründen als große Einheiten ausgelegt, so daß von einer einzigen Anlage sehr erhebliche Wärmemengen an einen Fluß abgegeben werden müssen.

Die ersten deutschen Versuche, diesen Mangel zu beheben, hatten zum Ziel, den Dampf zu überhitzen. Der nächste Bauauftrag für einen Leichtwasserreaktor forderte deshalb – und zwar beim

Kernkraftwerk Lingen – die Auslegung als Siedewasserreaktor mit einer Leistung von 160 Megawatt in dem Teil, der mit Kernenergie betrieben werden sollte. Der im Core erzeugte Dampf von ca. 280 °C wird anschließend mit Heizöl oder Gas überhitzt, wodurch zusätzlich 90 Megawatt elektrische Energie gewonnen werden. Auf diese Weise wird der thermische Wirkungsgrad wesentlich erhöht. Das Kraftwerk, das insgesamt 250 Megawatt Kapazität hat, kam 1968 in Betrieb. Diese recht komplizierte Einrichtung war jedoch nicht besonders vorteilhaft, so daß dieser Weg nicht weiter verfolgt wurde.

Eine andere Möglichkeit zur Erhöhung der Dampftemperatur wurde in Kahl erprobt. Dort wurde nach Plänen der AEG im Auftrag der Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe, ein zweiter Versuchsreaktor gebaut, und zwar wiederum ein Siedewasserreaktor. Er sollte eine elektrische Leistung von 25 Megawatt haben. Dabei wurde der im Core erzeugte Dampf mit Hilfe von Kernenergie überhitzt. Dieser Heißdampfreaktor (HDR) kam Ende 1970 in Betrieb. Er erwies sich jedoch nicht als betriebssicher und wurde bald stillgelegt.

Es zeigte sich, daß die nukleare Überhitzung, zumal bei größerer Kapazität, noch zu kompliziert und deswegen nicht wirtschaftlich ist. Daher begnügte man sich bei allen mittlerweile in großer Zahl ausgeführten Leichtwasserreaktoren mit der Erzeugung von Sattdampf. Folge davon sind freilich mancherlei Probleme im konventionellen Turbinenteil der Kernkraftwerke. Der Sattdampf kann in den letzten Stufen des Niederdruckteils der Turbine bei der Kondensation Schaden verursachen.

Dann folgte der Druckwasserreaktor

Parallel mit der Entwicklung des Siedewasserreaktors hatte die Firma Siemens sich um den Druckwasserreaktor gekümmert. Bei der Errichtung des Natururanreaktors FR 2 war viel gelernt, vor allem eine gute Mannschaft von Fachleuten ausgebildet worden. Der leider zu früh verstorbene Wolfgang Finkelnburg war bei diesen Entwicklungen von der ersten Stunde an die treibende Kraft.

Mit dem Bau der Natururanreaktoren MZFR mit einer Leistung von 50 Megawatt in Karlsruhe und dem größeren Auftrag für Atucha (Argentinien) mit einem Kraftwerk von 320 Megawatt war ein gutes Know-how erworben worden, das überdies noch durch eine enge Zusammenarbeit mit der amerikanischen Firma Westinghouse gefördert wurde. Bei diesen Projekten hatte man das Konstruktionsprinzip des Druckwasserreaktors kennengelernt. So konnte nun in Obrigheim am Neckar der erste größere Druckwasserreaktor gebaut werden. Bestellt und betrieben wurde er von der Kernkraftwerk Obrigheim GmbH. Er wurde 1968 kritisch und ist mit gutem Erfolg bis heute in Betrieb. Seine elektrische Leistung beträgt 283 Megawatt.

Ein Frachtschiff namens »Otto Hahn«

Eine bedeutsame Entwicklung im Bereich der Leichtwasserreaktoren bahnte die Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt an. Sie wurde 1956 von der Bundesregierung gemeinsam mit den vier Küstenländern Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein sowie der Wirtschaft gegründet. Sie baute als erstes ein Frachtschiff von 16900 BRT, das dann den Namen »Otto Hahn« bekam. Für den Antrieb schuf die Arbeitsgemeinschaft von Babcock & Wilcox/Interatom einen Druckwasserreaktor fortgeschrittener Konstruktion.

Der Reaktor erzeugt hocherhitztes Wasser. In einem sekundären Kreislauf entsteht dann Dampf, der einer Turbine zugeführt wird. Die Leistung dieses Antriebs wird mit 10000–11000 PS an der Welle angegeben. Das Schiff ist 1968 in Betrieb genommen worden und hat bisher eine außerordentlich günstige Betriebszeit hinter sich. Es ist zur Zeit wohl das einzige nuklear angetriebene Frachtschiff. Anfängliche Schwierigkeiten, die man gelegentlich in ausländischen Häfen hatte, sind längst behoben. Das Schiff läuft seit vielen Jahren wichtige Häfen der Welt an.

Mit dem Leichtwasserreaktor war nun eine mittlere Kapazität erreicht, die durchaus jener der normalen thermischen Kraftwerke entspricht, wie sie in Europa üblich sind.

Das Eis war gebrochen. Es entstanden dann Leichtwasserreak-

toren in größerer Zahl, deren Kapazität fast mit jeder neuen Bestellung wuchs. In Deutschland waren schon 1971 über die genannten Projekte hinaus 10 Leichtwasserreaktoren im Bau, deren Leistung in allen Fällen über 600 Megawatt liegt.

Erste Exporte – dennoch Kritik

Im Jahr 1969 hatte die deutsche Kraftwerksindustrie einen ersten Exporterfolg mit Leichtwasserreaktoren: für Borssele bei Vlissingen bestellte Holland einen Druckwasserreaktor mit einer Leistung von 450 Megawatt.

Die Erfahrungen mit den Kernkraftwerken waren am Anfang sehr unterschiedlich und wurden auch von der Öffentlichkeit sehr kritisch beobachtet. Teils war die Kritik auch ungerecht, es handelte sich schließlich um völlig neue technische Lösungen. Es gab Störungen. Sie lagen allerdings meist im konventionellen, z.B. im Turbinenteil und sehr viel seltener im kerntechnischen Bereich. Es waren vielleicht nur kleine Ursachen, die oft aber große Wirkungen hatten. Ein durch solche Störungen erzwungener Stillstand dauerte gelegentlich länger, weil die Betriebsabschnitte nur mit großer Vorsicht betreten werden durften. Das gilt besonders für die Siedewasserreaktoren, bei denen der mit Radioaktivität beladene Dampf unmittelbar in die Turbine geht; sie wird infolgedessen auch radioaktiv. Das ist einer der Gründe dafür, daß Besteller vielfach den Druckwasserreaktoren den Vorzug zu geben scheinen.

Im gleichen Maß, in dem die Kernkraftwerke betriebsmäßig eingesetzt wurden, gewann man kalkulatorische Vergleichsmöglichkeiten zur konventionellen Energieerzeugung. Die Brennstoffkosten im Betrieb waren bei diesen herkömmlichen Kraftwerken stets höher, obwohl es in Deutschland schwierig ist, wirkliche Kosten für Steinkohle, Braunkohle, Öl oder Gas miteinander zu vergleichen. Unterschiedliche Steuerbelastungen und staatliche Subventionen trüben das Bild gegenüber einer nüchternen Wirtschaftlichkeitsrechnung. Am besten schneidet wohl die Braunkohle ab, weil es in Deutschland gelungen ist, die Förderkosten durch weitgehende Rationalisierung relativ niedrig zu halten.

Doch auch die Brennstoffkosten der Kernenergie sind noch nirgendwo in der Welt exakt erfaßt worden. Die Preise für die Anreicherung, die man insbesondere in den USA zahlen muß, sind politische Preise, die überdies noch dadurch verwischt sind, daß sie mit den großen militärischen Anlagen in Zusammenhang stehen. Über die Wiederaufarbeitung der ausgebrannten Brennstoffe, die Rückführung von Uran und Plutonium und die gefahrlose Beseitigung der radioaktiven Rückstände, also insgesamt über den Brennstoffkreislauf, weiß man noch viel zu wenig. Es ist aber zu hoffen, daß eines Tages die Brennstoffkosten für Kernkraftwerke niedriger sein werden als die von konventionellen Anlagen.

Anders liegt es bei den Kosten für die Errichtung der neuen Kraftwerke. Bei den traditionellen kann man sich auf jahrzehntelange Erfahrungen und auf die Vorteile einer Serienfabrikation verlassen. Das Kernkraftwerk muß heute noch – weil es sich bisher jeweils noch um Einzelanfertigungen handelt – sehr viel teurer sein. Das ist allein schon durch die erhöhten Kosten der kerntechnischen Anlagen und die erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen bedingt.

Die Konsequenz aus solchen Überlegungen der Wirtschaftlichkeit war es, daß man sich bemühte, die Kernkraftwerke in der Auslegung ihrer Kapazität ständig zu vergrößern und damit über die konventionellen Kraftwerke weit hinauszugehen. Dies aber brachte neue große Probleme.

Das Core des Leichtwasserreaktors ist in einem Druckkessel untergebracht, der den Betriebsdruck von 140 Atmosphären aushalten muß. Bei den Kernkraftwerken jetziger Größe von 1200 Megawatt kommt man dabei zu gewaltigen Dimensionen, wie es sie sonst bei Hochdruckapparaturen, die z.B. in der chemischen Industrie vielfach verwendet werden, nie gegeben hat. Solche Kessel haben ein Gewicht von 500 Tonnen und mehr. Sie können bisher auch nur an wenigen Orten der Welt hergestellt werden. Außerdem verursachen sie Schwierigkeiten bei Transport und Montage. Sehr viel größer wird man diese Behälter (pressure vessels) nicht bauen können.

Um die Ausmaße solcher Kessel kleiner zu halten, versuchte die Firma Siemens – ähnlich wie bei den traditionellen Kraftwerken zu Flammrohrkesseln – nun bei Kernkraftwerken zu Druckröhrenkonstruktionen überzugehen. Darin ist der Wasserraum in ein Röhrensystem unterteilt. Fast alle konventionellen Dampfkessel mit Temperaturen von 500–650 °C und Drücken bis zu 300 Atmosphären bestehen aus solchen Röhrensystemen, die bei mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerken von den Flammen umspült werden. Der erste deutsche Versuch mit einem Druckröhrensystem geschah beim KKN-Reaktor in Niederaichbach. Er war ursprünglich eine Weiterentwicklung der Natururan-Schwerwasserlinie. Er enthält Schwerwasser als Moderator in senkrecht angeordneten Druckröhren, in denen die Brennelemente vom Schwerwasser umspült werden. Um auf höhere Temperaturen zu kommen, verwendet man als Kühlmittel CO_2, das die Brennelemente innen durchströmt.

Dieser KKN-Reaktor, der für 100 Megawatt ausgelegt ist, kam 1972 in Betrieb. Da man die Natururanlinie in Deutschland inzwischen als überholt betrachtete, stattete man ihn mit angereichertem Uran aus, um höhere Leistungen zu erzielen. Aus vielerlei Gründen hat sich der KKN-Reaktor nicht bewährt. Er kam nie auf seine volle Leistung, was auch mit der Druckröhrenkonstruktion zusammenhing. Schließlich wurde er 1974 endgültig stillgelegt.

Andererseits enthalten auch die Natururan-Schwerwasserreaktoren der Kanadier Druckröhrensysteme. In England und der UdSSR werden ebenfalls solche Röhrenkonstruktionen gebaut.

Die Kapazitäten sind nicht unbegrenzt

Wenn bisher also vorzugsweise mit Druckkesseln gearbeitet wird, so muß daran gedacht werden, daß damit sehr viel größere Dimensionen und Kapazitäten kaum möglich sind. Einem allzu großen Druckkörper stehen ernste Bedenken im Hinblick auf die Sicherheit entgegen.

Grenzen einer weiteren Steigerung der Kapazität des Reaktors liegen schließlich noch in der Dampfturbine. Je größer die Reaktoren wurden, desto größer mußten auch die Dampfturbinen sein.

Leistungen von 1200 Megawatt gehen weit über jene Dimensionen hinaus, die in traditionellen Kraftwerken erreicht werden. Sie liegen dort nur bei 300 Megawatt. Die neuen Turbinen für die großen Leichtwasserreaktoren sind jedoch riesige Konstruktionen, die eine Baulänge von 40 bis 50 m haben. Schnell laufende Maschinen mit solchen Leistungen neigen zur Reparaturanfälligkeit und gefährden so die Rentabilität der Kraftwerke. Es scheint, daß mit den jetzt entwickelten Leichtwasserreaktoren eine Entwicklungsstufe erreicht ist, die eine Atempause erfordert. Nach allgemeiner Auffassung stellen sie mit einer Kapazität bis zu 1200 oder 1300 Megawatt ein Maximum dessen dar, was die Technik sich derzeit zutrauen kann.

In den Vereinigten Staaten sind rund 200 Kraftwerke in Betrieb oder im Bau, von denen die meisten solch große Reaktoren enthalten. Auch in Deutschland hat man viel vor; nach dem Energieprogramm der Regierung müßten jährlich drei bis vier große Kernkraftwerke erstellt werden, wenn die beabsichtigte Leistung erfüllt werden soll. In Frankreich und in England, wo viele Jahre graphitmoderierte Reaktoren bevorzugt wurden, ist man dabei, sich auf Leichtwasserreaktoren umzustellen. Die deutsche Industrie hat an dieser Entwicklung frühzeitig teilgenommen und ist heute in der Lage, moderne und leistungsfähige Leichtwasserreaktoren zu bauen und damit in der Welt zu konkurrieren.

Eine endgültige Lösung ist das freilich nicht. Schon der Vorrat an spaltbaren Kernbrennstoffen reicht nicht aus, wenn man ihn nicht besser zu nützen lernt. Dazu sind Lösungen erkennbar, die aber bis zu ihrer Reife noch eine gute Weile brauchen.

Als 1971 in Genf die vierte internationale Atomkonferenz eröffnet wurde, spiegelte sie diesen Status wider. Das Interesse wandte sich dem Brennstoffkreislauf und den fortgeschrittenen Reaktoren zu.

Kapitel 9
Der Brennstoffkreislauf

Im Jahre 1781 entdeckte der berühmte Astronom Friedrich Wilhelm Herschel, einst Musiker in der Armee des Königreiches Hannover, eine kleine leuchtende Scheibe am Firmament. Es handelte sich um einen bis dahin unbekannten Planeten, der nach dem Vater des Titanengeschlechts der griechischen Sage den Namen »Uranus« erhielt. Zu Ehren von Herschel nannte acht Jahre später ein nicht minder der Mythologie verhafteter Chemiker ein soeben von ihm entdecktes Element »Uranit«, das er später in »Uranium« umtaufte.

Dieser Chemiker, Martin Heinrich Klaproth, berichtete am 24. September 1789 vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften in Berlin darüber, daß er in der Pechblende, einem in Joachimsthal in Böhmen vorkommenden Erz, einen gelblichbraunen Stoff gefunden habe, von dem er glaube, es sei ein bisher unbekanntes Element. In Wirklichkeit war diese Substanz das Oxid eines Elements. Die Herstellung des Metalls aus diesem Oxid gelang erst im Jahre 1841 dem Franzosen Eugène Melchior Péligot.

Klaproth war ein erfolgreicher Chemiker der ersten Stunde. Er entdeckte noch drei weitere Elemente, nämlich das Zirkon, das Titan und das Tellur.

Wegen seiner großen Kunst der Analyse ist er in der Geschichte der Chemie hoch angesehen.

Ein »Aschenbrödel« der Elemente

Pechblenden hatte man schon lange vorher in geringem Umfang verwendet. Böhmische Glashütten erzeugten daraus fluoreszierende Gläser. Später verwendete man Uranverbindungen als Por-

zellanfarben. Auch nach dem Tode Klaproths blieb Uran ein »Aschenbrödel« unter den Stoffen. Wo immer im Bergbau darauf gestoßen wurde, waren die uranhaltigen Erze ein unerwünschtes Nebenprodukt beim Abbau von Materialien, die damals als weit wertvoller galten. Dies war zum Beispiel der Fall im böhmischen Sankt Joachimsthal, das heute zur Tschechoslowakei gehört. Hier lagerten die einzigen bisher bekannten Uranvorkommen. Die Männer unter Tage suchten aber nicht nach Uran, sondern nach dem verlockenden Silber, das dann zu den weltbekannten »Thalern« geprägt wurde. Die Uranerze wanderten in großen Mengen auf die Abraumhalden.

Marie Curie und die Pechblende

Gegen Ende der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts waren die Silbervorräte von Sankt Joachimsthal nahezu ausgebeutet, so daß daran gedacht wurde, die Gruben zu schließen.

Ein Brief der französischen Wissenschaftlerin und späteren Nobelpreisträgerin Marie Curie aus dem Jahre 1898 leitete eine unerwartete Entwicklung ein.

Das »Wunderbare um das Uran« aber hatte schon vorher begonnen. Am 24. Februar 1896 fand der Franzose Antoine Henri Becquerel im Uran die natürliche Radioaktivität. Nach Entdekkung der Röntgenstrahlen ergab sich die Frage, ob Substanzen mit starkem Fluoreszenz- oder Phosphoreszenzvermögen ähnlich durchdringende Strahlen aussenden könnten. Becquerel setzte eine Uranylverbindung dem Sonnenlicht aus und beobachtete deren Fluoreszenz. Als das Sonnenlicht eines Tages ausblieb, sah er, daß vom Uranylsalz eine eigentümliche, von der Belichtung unabhängige Strahlung ausging; die erste Beobachtung der natürlichen Radioaktivität.

Madame Curie suchte nach der geheimnisvollen Substanz, welche die neuentdeckte Strahlung aussandte und sich in der Pechblende befinden mußte. In einem Brief an die Sankt Joachimsthaler Bergwerksdirektion erbat sich Madame Curie eine Tonne der dort auf der Halde liegenden Pechblende, natürlich ohne irgendwelche Bezahlung.

Zusammen mit ihrem Mann Pierre Curie entdeckte dann Madame Curie im Jahre 1898 das von ihr gesuchte Strahlenelement; das radioaktive Radium. Seine durchdringende Strahlung war nicht nur gefährlich, sondern auch segensreich. Mit Radiumbestrahlung wurde es nun möglich, Krebsgeschwülste zu zerstören, die man operativ nicht mehr angehen konnte.

Jahresproduktion: 8 Gramm

Das glänzendweiße Metall und damit auch die Pechblende erlebten nun in kurzer Zeit eine Hochkonjunktur. Dies um so mehr, als das Radium im Uranerz in kaum vorstellbar geringen Mengen vorhanden war, nämlich 0,14 g in einer Tonne Pechblende. Nur etwa acht Gramm Radium konnten um 1910 trotz aller Anstrengung jährlich aus der Sankt Joachimsthaler Pechblende gewonnen werden. Seinerzeit war dies die Weltproduktion, denn zunächst schienen allein in Sankt Joachimsthal genügend große Uranvorkommen vorhanden zu sein.

Dabei hätte sich schon im Jahre 1898, als das Radium in der Pechblende gefunden wurde, auch eine andere Gewinnungsmöglichkeit geboten, aber es achtete niemand darauf. Im damals noch reichlich »wilden« Westen Amerikas, in der Coloradoebene, malten sich die Indianer, wenn sie sich auf den Kriegspfad begaben, mit leuchtenden roten und gelben Erdfarben an. Diese Farben waren, wie sich später herausstellen sollte, radioaktiv. Sie bestanden aus einem Gemisch von Uranium-, Kalium- und Vanadiumverbindungen. Das Carnotit genannte Mischerz enthielt ebenso wie die Pechblende Spuren von Radium.

Schon 1898 schickte ein amerikanischer Prospektor namens Gordon Kimbell Proben des Carnotits an eine Untersuchungsstelle. Man fand heraus, daß das Erz uranhaltig war. Da die Lagerstätte aber hundert Meilen von der nächsten Bahnstation entfernt lag, blieb das Interesse zunächst recht begrenzt.

Fünfzehn Jahre später jedoch, als man den Wert des Radiums erkannt hatte und überall die Suche nach dem so seltenen Material einsetzte, erlebten der Carnotit und mit ihm die Coloradoebene eine unerwartete Blütezeit. Ein Jahrzehnt lang, von 1913 bis 1923,

schossen dort Bergarbeiterstädte aus dem Boden. Naurita, Grand Junction, Urivan, in diesen und anderen schnell zusammengezimmerten Siedlungen herrschte das Uranfieber wie einst in Kalifornien der Goldrausch. Viele wurden das Opfer von Illusionen und Träumen, mancher aber brachte es tatsächlich zum Millionär, denn Colorado hatte Joachimsthal, das inzwischen zur Bedeutungslosigkeit abgesunken war, in seinem Radium-Monopol abgelöst.

Die Weltmarktpreise für Radium wurden im ersten Weltkrieg von Colorado aus diktiert. Der Preis betrug damals 500 Mark pro Milligramm Radium. Später aber war es auch mit der amerikanischen Vormachtstellung auf dem Radiummarkt vorbei. Ein neuer »Radium-Gigant« tauchte auf: die belgische Union Minière. In der Provinz Katanga im belgischen Kongo besaß diese Gesellschaft bedeutende Kupferminen. Einer ihrer Angestellten entdeckte schon 1913 in einem Kupferbergwerk Uranerz. Dem Fund aber wurde keine große Bedeutung beigemessen, denn wie einst die Joachimsthaler am Silber, so waren die Belgier nur am Kupfer interessiert.

Der Uranabbau im Kongo beginnt

Erst 1921 wurde sich die Union Minière der Chancen bewußt, die sich hier boten. Heimlich begann das Unternehmen mit dem Abbau der Uranerze und der Gewinnung von Radium. In Shinkolobwe wurde ein Uranbergwerk eingerichtet, und in Dolen in Belgien errichtete man die entsprechenden Anlagen zur Herstellung des Radiums.

Nachdem am internationalen Markt von den belgischen Uranfunden zunächst nur Gerüchte kolportiert wurden, kam alsbald die offizielle Bestätigung: die Union Minière machte den belgischen Krankenhäusern ein Geschenk von acht Gramm Radium. Diese acht Gramm besaßen damals einen Wert von zwei Millionen Mark.

Um eine derartige Menge zu produzieren, benötigte man in den Colorado-Minen inzwischen nur vier Monate. Aber mit den Belgiern, deren Erze noch dazu sechzig Prozent Uran enthielten, konnte man keineswegs Schritt halten. Die amerikanischen Radium-Ak-

tien fielen an der Börse. 1925 waren die Bergarbeiterstädte in Colorado verödet.

Heute kostet das Milligramm Radium nur noch etwa 100 DM. Die Weltgewinnung ist im Wettbewerb mit künstlichen radioaktiven Stoffen unter 250 g im Jahr gesunken. Der gesamte Radiumvorrat in der ganzen Welt dürfte sich auf etwa fünf Kilogramm belaufen.

Noch immer aber war für Uran selbst kaum Interesse vorhanden. Es war ja nur ein Abfall der Radiumproduktion. Die Uranerze lagen in großen Mengen auch in Kanada am Großen Bärensee als unerkannter Schatz, den niemand haben wollte.

Erst 1938/39 änderte sich das schlagartig. Die Nachricht von der in Berlin-Dahlem geglückten Kernspaltung ging um die Welt. In den Monaten nach der ersten Veröffentlichung von Hahn und Strassmann erkannten die Wissenschaftler, welche Möglichkeiten der Energiegewinnung sich hier eröffneten. Vor allem als dann zu Beginn des Zweiten Weltkrieges der Bau von Atombomben diskutiert wurde, war Uran plötzlich hoch begehrt. Sowohl im Kongo als in Kanada lief der Abbau von Uranerzen auf Hochtouren, denn die amerikanischen Versuche erforderten Tausende von Tonnen des kostbaren Marerials.

Bis zum Ende des Krieges wurde zwangsläufig alles, was mit dem Uran zu tun hatte, auch in der westlichen Welt mit dem Siegel strengster militärischer Geheimhaltung versehen. Das änderte sich aber, je mehr die friedliche Nutzung der Kernenergie in den Vordergrund rückte. Die Atomenergiekommission der Vereinigten Staaten, die die Suche nach neuen Uranvorkommen zunächst vornehmlich auf Regierungsprospektoren beschränkt hatte, änderte im April 1948 ihre Politik. Von nun an wurden private »Schatzsucher« ermutigt, mit dem Geigerzähler das Land zu durchstreifen.

Daß dabei auch manche Schwindelunternehmen blühten und so manches hoffnungsvolle Vorhaben nach kurzer Zeit wie eine Seifenblase zerplatzte, nimmt nicht wunder. Auf der anderen Seite gab es bald eine Anzahl von »Uran-Millionären«, die ihren jungen Reichtum der Suche nach dem »Gold des zwanzigsten Jahrhunderts« verdankten.

Auch in anderen Ländern wurde die Jagd nach Uran populär,

so z. B. in Australien. Dort entdeckte ein Prospektor namens Jack White im Norden des Landes, in der Nachbarschaft längst stillgelegter Kupferminen und eines ebenso verlassenen Flugplatzes, den die australische Luftwaffe während des Krieges angelegt hatte, reiche Uranlager. Ähnliches Glück hatte fünf Jahre später in der Provinz Queensland der Taxifahrer McConachy, der auf einem Wochenendausflug mit einem Geigerzähler das Land durchstreifte und auf große Uranvorkommen stieß. Der Erfolg dieser und anderer Prospektoren ließ Australien schon 1956 an die fünfte Stelle der uranproduzierenden Länder der Welt rücken.

Gold und Uran aus Südafrika

Eine weitere Uran-Quelle eröffnete sich in Südafrika, wo bei Johannesburg aus staatlichen Minen Gold gefördert wird. Das zu feinem Staub zermahlene, seines Goldgehaltes beraubte Gestein türmt sich außerhalb der Stadt zu hohen gelblichen Halden. Erst während des Krieges stellte sich heraus, daß dieser Sand Uran enthielt. Einige Jahre später erkannte man, daß der Urangehalt hoch genug war, um es zu gewinnen. Schon 1957 stammte rund ein Drittel des Gesamtertrages der Gold- und Uranminen der Provinzen Transvaal und Oranje allein aus der Uranproduktion.

Insgesamt steht Uran, das schwerste Element, das in der Natur existiert, in der Reihenfolge der Häufigkeit der auf der Erde vorkommenden Elemente an 40. Stelle. Es ist also, wie man heute weiß, gar nicht so selten. Man kennt inzwischen abbauwürdige Vorräte von rund 870 000 Tonnen. Mit großer Wahrscheinlichkeit sind noch weitere 900 000 Tonnen vorhanden. Dabei muß man davon ausgehen, daß die Prospektierung viele Gegenden der Welt noch gar nicht erfaßt hat. Steigt der gegenwärtige Uranpreis von etwa 150 DM pro kg langfristig wesentlich an, so werden auch Erze mit geringeren Urangehalten (z. B. Granit) abbauwürdig, von denen es größere Vorräte gibt. Auch das Meerwasser enthält Spuren von Uran. Da die Uranvorkommen auf der Erde anders verteilt sind als das Erdöl, wird dessen monopolartige Stellung im Energiesektor zumindest aufgelockert.

Uransuche in Deutschland

Eine Prospektierung und Gewinnung von Uranerz gab es in Deutschland schon im Jahre 1955, als die Arbeiten zur friedlichen Nutzung der Kernenergie erst ein geringes Ausmaß hatten.

Aufgrund eines im Dezember 1957 mit Kanada abgeschlossenen Vertrages, wurde die für den Natururanreaktor FR 2 erforderliche Menge von ca. 20 Tonnen UO_2 als Konzentrat (Yellow Cake) aus Kanada bezogen.

Von Beginn an aber war klar, daß man sich um die Bereitstellung des Natururans sowie um alle anstehenden Fragen des Brennstoffkreislaufes intensiver würde kümmern müssen.

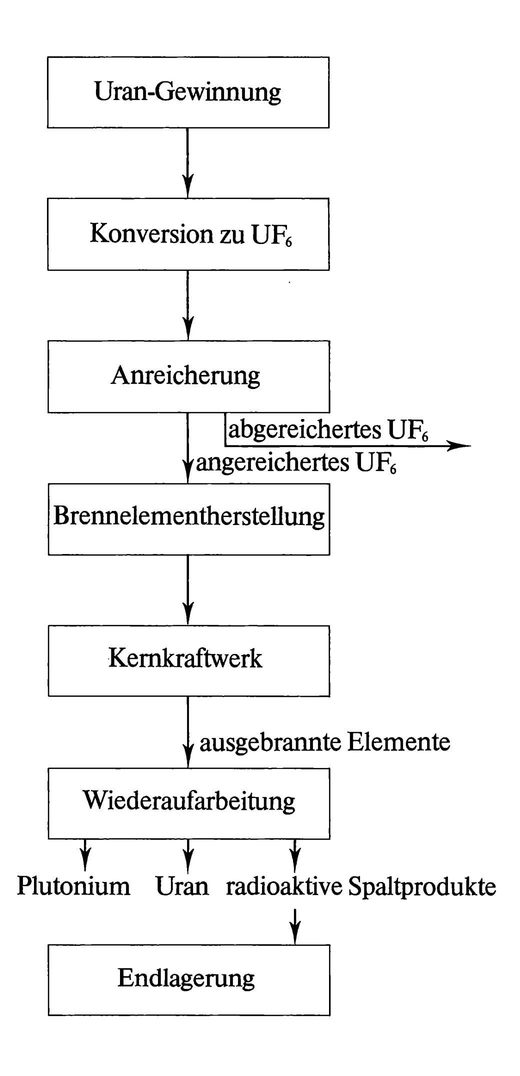
Innerhalb der Deutschen Atomkommission übernahm der Arbeitskreis »Beschaffung und Aufbereitung von Uranerzen« die Vorsorge für das Natururan. Er stand unter Leitung von Hans Closs vom Amt für Bodenforschung in Hannover. In Zusammenarbeit mit dem Atomministerium entstand ein Plan zur systematischen Prospektierung in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Suche wurde einer Reihe von privaten Firmen überlassen, denen die jeweiligen geologischen Landesämter und wissenschaftliche Institute behilflich waren. Suchtrupps zu Fuß und auf geländegängigen Fahrzeugen, ab 1958 dann auch mit Hubschrauber, wurden ausgeschickt. Die Kosten der Arbeiten trug weitgehend das Atomministerium.

Ein erster Zuschuß wurde der Maximilianshütte in Sulzbach-Rosenberg in Bayern gewährt. Damit sollten die dort schon seit 1948 geleisteten Entwicklungen anerkannt und gefördert werden. Diese Hütte hatte nämlich in einer Grube am Rudolfstein im Gebiet Weißenstadt des Fichtelgebirges ein Vorkommen von etwa fünfzig bis siebzig Tonnen Uran nachgewiesen.

Sofort wurde die Förderung im kleinen Maßstab aufgenommen. Die Chemische Fabrik von Heyden in Regensburg und die Firma Lurgi in Frankfurt verarbeiteten das Erz zu Urankonzentrat. Daraus schließlich wurde bei der Degussa in Wolfgang bei Hanau das erste Uranmetall deutscher Herkunft nach dem Kriege hergestellt.

Ein etwa dreißig Zentimeter langer Uranstab wurde von der



Schema des Brennstoffkreislaufs

Maximilianshütte 1956 dem damaligen Atomminister Franz Josef Strauß im Hotel Godesberger Hof feierlich überreicht. Das Geschenk befindet sich heute im Deutschen Museum in München. Außerdem ließ die Firma aus ihrem Uran beim Bayerischen Hauptmünzamt einige Gedenkmedaillen prägen. Sie zeigen auf der einen Seite das Wappen der Hütte mit der Umschrift: Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianshütte-AG, Sulzbach-Rosenberg. Hütte. 1853. Auf der anderen Seite stehen die Worte: Erstes deutsches Uran von Weißenstadt im Fichtelgebirge 1956.

Für einen deutschen »Uran-Boom« reichten die Weißenburger Funde freilich nicht. Der Urangehalt der dortigen Erze betrug nur 0,05 bis 0,07%. Für die Gewinnung von Urankonzentrat aus diesem armen Erz hätten Betriebskosten von etwa 525 DM pro kg Uran aufgewendet werden müssen. Das war wirtschaftlich nicht vertretbar. Schließlich liegt der heutige Weltmarktpreis bei unter einem Drittel dieser Summe. Die Pläne der Maximilianshütte, etwa zwölf Tonnen Uran aus dem Vorkommen am Rudolfstein abzubauen, mußten daher aufgegeben werden.

Im Mai 1956 gab es neuen Auftrieb. Die Gewerkschaft Brunhilde, Hannover, fand bei Untersuchungen in Rheinland-Pfalz am Bühlskopf bei Ellweiler im Kreis Birkenfeld eine Uranlagerstätte. Man schätzte sie auf rund achtzig bis hundert Tonnen Uran. Hier kam es in den folgenden Jahren tatsächlich zu einer Förderung im Tagebau. Das Erz hatte einen Durchschnittsgehalt an Uranoxid (U_3O_8) von etwa 0,1%.

Der Abbau dieser Uranerze und ihre Weiterverarbeitung zu Urankonzentrat machten den Bau einer Aufbereitungsanlage notwendig. Eine Versuchsanlage zur Uranerzverarbeitung wurde schließlich in den Jahren 1958/59 von der Gewerkschaft Brunhilde in der Steinau bei Birkenfeld errichtet. Die gesamten Baukosten betrugen etwa 5,5 Millionen DM. Der Bund steuerte rund 2,5 Millionen DM bei.

Ab 1960 wurden am Bühlskopf zunächst etwa dreißig Tonnen Erz täglich verarbeitet. Die Anlage wurde mehrmals umgebaut und verbessert. Sie erreichte schließlich eine Durchsatzkapazität von täglich etwa 150 Tonnen Erz. Das bedeutete, daß je nach dem Urangehalt täglich bis zu 150 kg hergestellt werden konnten.

Dieser Anlage – der einzigen in der Bundesrepublik zur Gewinnung von Urankonzentraten – waren mehrere Aufgaben gestellt; sie sollte die Verarbeitungsmöglichkeit von Erzvorkommen in der Bundesrepublik untersuchen, Uranerze bemustern, Aufbereitungsverfahren für neue Erzvorkommen entwickeln und schließlich abbauwürdige Erze verarbeiten.

Kontroverse im Schwarzwald

In Baden-Württemberg rechnete das Geologische Landesamt in Freiburg nicht mit Uranvorkommen. Untersuchungen des Landesamtes hatten ergeben – so hieß es in einer Studie von 1957 –, daß es in diesem Lande keine abbauwürdigen Uranvorkommen gebe.

Trotzdem erhielt die Gewerkschaft Brunhilde am 20. August 1960 von der Landesregierung in Stuttgart eine »Untersuchungsermächtigung«. Nun konnte sie wenigstens ein Vorkommen von Uranerzen im »Feldbelchen« im südlichen Schwarzwald erkunden. Im Frühjahr 1961 bekam die Gewerkschaft dann endlich eine »Schürfgenehmigung«.

Sie entdeckte das Uranvorkommen in Menzenschwand. Es handelte sich dabei um ein Erz mit dem hohen Durchschnittsgehalt von einem Prozent Uran, ein Anteil, wie er bisher bei keinem anderen deutschen Vorkommen erreicht wurde.

In den Jahren 1962/63 wurden etwa 2000 Tonnen Erz gefördert, zu der Aufbereitungsanlage in der Steinau transportiert und dort zu Urankonzentrat verarbeitet.

Leider mußten die Arbeiten in Menzenschwand bald wieder eingestellt werden. Die Gemeinde und die Landesbehörde entschieden, daß die Ruhe des stillen Tales und der Fremdenverkehr gestört würden. Die Wasserversorgung sowie Tier- und Pflanzenwelt seien gefährdet. Ein geohydrologisches und ein pflanzenphysiologisches Gutachten wurden verlangt. Obwohl beide zugunsten der Gewerkschaft Brunhilde ausfielen, waren die Schwierigkeiten damit nicht behoben. Auf Antrag der Gemeinde Menzenschwand verfügte das Amtsgericht St. Blasien am 16. September 1963 die Einstellung der Arbeiten am Uranvorkommen.

Mehr als fünf Jahre beschäftigte danach der »Fall Menzenschwand« Öffentlichkeit, Behörden und politische Institutionen bis hin zum Atomministerium und Bundestag. Alle Bemühungen, das Uranprojekt wieder in Gang zu bringen, blieben jedoch erfolglos. So erhob dann die Gewerkschaft Brunhilde, der in ihrem ursprünglichen »Schürfvertrag« im Falle der Fündigkeit ein Anspruch auf Abschluß eines Gewinnungsvertrages zugestanden worden war, im Dezember 1967 vor dem Verwaltungsgericht Freiburg Klage gegen das Land Baden-Württemberg. Dieser Prozeß ist bis heute nicht entschieden. Das Ganze war ein Musterbeispiel von Eigenbrötelei und Partikularismus.

Mit der Einstellung des Abbaus eines Teiles der Uranerze kam auch die Ellweiler Versuchsanlage zur Aufbereitung von Uranerzen in Schwierigkeiten. Es fehlte der Rohstoff für die Anlage. Um sie nicht schließen zu müssen, kaufte die Gewerkschaft Brunhilde in den folgenden Jahren mit Billigung des Ministeriums notgedrungen auch teures Uranerz aus Frankreich.

Wegen der Verarbeitung der armen Ellweiler-Uranerze und infolge der geringen Menge des Menzenschwander Erzes war die Versuchsanlage unwirtschaftlich. Die hohen Einstandspreise für das ausländische Erz machten die Lage noch schwieriger.

Die Bundesregierung wollte jedoch die einzige deutsche Anlage für die Aufarbeitung von Uranerzen erhalten und entschied deshalb, eine Mindestproduktion von zwanzig Tonnen U_3O_8 pro Jahr zu einem garantierten Selbstkostenpreis herstellen zu lassen und von Staats wegen aufzukaufen. Dies ist in den Jahren von 1964 bis einschließlich 1972 geschehen. Seit dem 1. Januar 1973 bekommt die Gewerkschaft Brunhilde für die Anlage Ellweiler keine Unterstützung mehr von der Bundesregierung.

1972 einigten sich die Gewerkschaft Brunhilde und die »Kurbetrieb Menzenschwand GmbH« auf eine Zusammenarbeit. Danach konnten die Uranuntersuchungsarbeiten in Menzenschwand 1973 in beschränktem Umfang und unter besonderen Auflagen wieder in Gang gesetzt werden. Das Bundesministerium für Forschung und Technologie unterstützt sie finanziell. Die neuen Arbeiten haben den bereits 1963 festgestellten Durchschnittsgehalt von etwa einem Prozent Uran im Erz auch in der Tiefe bestätigt. Eine ge-

nauere Angabe über die Größe des Vorkommens ist bis heute aber noch nicht möglich. Auf jeden Fall existiert in Menzenschwand nach wie vor das bedeutendste Uranvorkommen in der Bundesrepublik.

Außer den Uranvorkommen am Rudolfstein, am Bühlskopf bei Ellweiler und bei Menzenschwand im Schwarzwald wurden untersuchungswürdig erscheinende Vorkommen in Bayern entdeckt, und zwar in der Oberpfalz bei Kirchenreuth/Mehring nahe der Grenze zur Tschechoslowakei.

Insgesamt muß festgestellt werden, daß seit 1965 allen Anstrengungen, in der Bundesrepublik größere Uranvorkommen zu finden, kein nennenswerter Erfolg beschieden war.

Nur anderthalb Kilometer Luftlinie von dem Untersuchungsschacht der Gewerkschaft Brunhilde in Mehring entfernt betreiben die Tschechen seit Jahren mit offensichtlichem Erfolg einen Uranabbau aus größerer Tiefe. Im Schwarzwald, in der Nähe von Baden-Baden und in Rheinland-Pfalz gibt es ebenfalls Uranvorkommen, die in den nächsten Jahren weiter untersucht werden.

Um die deutsche Prospektion im Ausland voranzutreiben, wurde im Dezember 1967 die Urangesellschaft mbH u. Co. KG gegründet, im Februar 1968 außerdem die Uranerzbergbau-GmbH. Die Bundesregierung unterstützt diese beiden Firmen bei ihren Prospektierungsarbeiten durch die Bewilligung bedingt rückzahlbarer Zuschüsse für Aufschlußarbeiten im Ausland. Überdies leistet sie zur Abdeckung von Verlusten aus Uran-Lieferungsverträgen mit ausländischen Produzenten Beiträge. Man versucht auf diesem Wege, sich ausländische Fördermöglichkeiten zugänglich zu machen.

Das Uran kommt in allen Lagerstätten in leider nicht sehr konzentrierter Form vor. Es ist mit vielen anderen Elementen vergesellschaftet. Erze gelten heute als abbauwürdig, wenn sie mehr als ein Kilogramm Uran pro Tonne enthalten. Die Gewinnungskosten sind deswegen sehr unterschiedlich. Viele Elemente, die mit Uran zusammen vorkommen, stören bei der Kernreaktion, so daß das Metall zuvor stark gereinigt werden muß.

In dem natürlich vorkommenden Uran ist das spaltbare Isotop U 235, mit dem Kernenergieprozesse ausgelöst werden können,

nur mit 0,7 % enthalten. Der Rest von 99,3 % besteht aus dem Isotop U 238 und in winzigen Mengen aus U 234, die beide primär nicht spaltbar sind.

Die Berechnungen, die unmittelbar nach der Entdeckung von Otto Hahn und Fritz Strassmann angestellt wurden, ergaben schnell, daß zu einer Explosion auf der Basis der Kernkettenreaktion, wie sie dann in der Atombombe ausgelöst wurde, eine Anreicherung von U 235 auf über neunzig Prozent erzielt werden müßte. Zur friedlichen Nutzung in Kernreaktoren kann unter bestimmten Voraussetzungen auch das natürliche Uran mit dem niedrigen Gehalt von 0,7 % U 235 benutzt werden. Eine Anreicherung auf 2–3 % genügt bei den heutigen Leichtwasserreaktoren.

Die Anreicherung des U 235

Da alle Uranisotopen dieselbe Ordnungszahl 92 haben, unterscheiden sie sich durch keinerlei chemische Reaktionen und können deshalb nur durch physikalische Methoden getrennt oder angereichert werden. Wegen des sehr kleinen relativen Massenunterschieds der verschiedenen Isotopen bedarf es dazu spezifischer Methoden. Normale Trennmethoden, wie sie bei der Reindarstellung von anderen Metallen üblich sind, bleiben deswegen hier unwirksam.

Als die Amerikaner nach der Entdeckung der Kernspaltung den Entschluß faßten, sie für militärische Zwecke zu nutzen, mußten sie also zunächst dieses Anreicherungsproblem lösen. Sie konnten, zusammen mit den Engländern, lange Zeit das Geheimnis der Gewinnung von hochangereichertem U 235 bewahren und haben bis heute nicht alle Einzelheiten ihrer Anreicherungsmethoden – des sogenannten »Diffusionsverfahrens« – preisgegeben. Frankreich mußte bei der Entwicklung seiner »Force de frappe« dieses Diffusionsverfahren selbständig nachentwickeln, obwohl in den letzten beiden Jahrzehnten schon manche Einzelheiten bekanntgeworden sind. Dasselbe gilt für die UdSSR.

Alle Anreicherungsverfahren, die gegenwärtig bekannt sind, arbeiten mit dem gasförmigen Uranhexafluorid (UF_6). Es wird durch Umsetzung von Urandioxid (UO_2) mit Fluor und Fluorwas-

serstoff hergestellt. Uranhexafluorid ist bei normaler Temperatur fest. Erst bei mehr als 56 °C geht es in gasförmigen Zustand über.

Beim Gasdiffusionsverfahren läßt man UF_6 gasförmig an porösen Membranen vorbeistreichen. Die Poren dieser Membranen dürfen nur einige hunderttausendstel Millimeter Durchmesser haben. Auf der einen Seite einer solchen Membran herrscht Unterdruck. Deshalb durchdringt das Uranhexafluorid die Poren. Die leichteren UF_6-Teilchen, in denen U 235 gebunden ist, haben bei der gleichen Temperatur eine etwas höhere Geschwindigkeit als die Teilchen, die U 238 enthalten. Sie gehen durch die porösen Membranen etwas leichter hindurch als die schwereren Teilchen von Uran 238. Auf diese Weise werden die Isotopen getrennt, wenn auch der Effekt, der der Wurzel aus dem Verhältnis der Massen (238/235) proportional ist, in einer einzigen Stufe sehr klein bleibt. Es müssen mehrere tausend Stufen hintereinandergeschaltet werden, um einen hohen Anreicherungsgrad zu erzielen. Der apparative Aufwand wie auch der Energiebedarf, mit dessen Hilfe das Uranhexafluorid durch die vielen Stufen getrieben wird, ist sehr groß.

Verfahren	Trennwand-Diffusion	Trenndüse	Gas-Zentrifuge
Trennelement Us = schwere Fraktion Ul = leichte Fraktion	Us Ul	Ul Us	Heizung Us Ul Kühlung
Trennfaktor	1,004	1,01	1,25

Verfahren der Urananreicherung

In der Zentrifuge getrennt

Schon frühzeitig wurde nach anderen Anreicherungsverfahren gesucht. Heute arbeitet man verstärkt an dem sogenannten Zentrifugenverfahren, das schon von Wilhelm Groth und Paul Harteck am physikalisch-chemischen Institut in Hamburg im Jahre 1941 bearbeitet wurde. Die dazu erforderlichen Ultrazentrifugen wurden von Konrad Beyerle bei der Firma Anschütz in Kiel entwickelt. Schon 1942 gelang es, etwa 100 g schwach angereichertes Uran herzustellen. Dabei wird das gasförmige Uranhexafluorid durch eine Zentrifuge geleitet, die sich mit hoher Geschwindigkeit dreht. Die schwereren Teilchen des U 238 werden nach außen geschleudert. Das leichtere Isotop U 235 reichert sich im Innern an. Auf diese Weise erfolgt eine Trennung. Der Trennfaktor dieses Verfahrens hängt ab von der Massendifferenz (238–235). Er ist wesentlich größer als beim Diffusionsverfahren.

Infolgedessen kann beim Zentrifugenverfahren mit einer geringeren Zahl hintereinandergeschalteter Stufen die gewünschte Anreicherung erzielt werden. Allerdings sind die Kapazitäten der Trenneinheiten im Gegensatz zu den Membranen sehr klein. Für einen Durchsatz von technischen Mengen bedarf es bis zu 1 Million Zentrifugen.

Sie sind überdies infolge der hohen Rotationsgeschwindigkeit starken mechanischen Belastungen ausgesetzt. Bei dieser Methode ist also der apparative Aufwand sehr groß. Der Energiebedarf beträgt jedoch höchstens ein Zehntel von dem, der bei der Gasdiffusion notwendig ist.

Die in den USA nach dem Gasdiffusionsverfahren errichteten Anlagen, von denen allerdings nur allgemeine Angaben bekannt sind, waren sehr aufwendig und hatten einen riesigen Stromverbrauch.

Als man nach 1955 in Deutschland mit Überlegungen zur Urananreicherung begann, wurde man sich sofort darüber klar, daß schon allein wegen der Menge des benötigten elektrischen Stromes dieser Weg nicht gangbar war. Man griff infolgedessen gern auf die bescheidenen Anfänge zurück, die im Kriege mit dem Zentrifugenverfahren gemacht worden waren.

Die Probleme der Anreicherung

Die Deutsche Atomkommission hatte sich schon in ihren ersten Sitzungen im Jahre 1956 mit dem Problem der Anreicherung beschäftigt. Leo Brandt machte mit dem ihm eigenen Temperament auf die Arbeiten von Groth aufmerksam, der nach dem Krieg nach Bonn übergesiedelt war und seine Versuche mit Unterstützung der damals von der Industrie gegründeten Physikalischen Studiengesellschaft wiederaufgenommen hatte.

Innerhalb der Atomkommission wurde dann der Arbeitskreis III/2 »Brenn- und Baustoffe für Kernreaktoren« mit dem Problem der Urananreicherung sowie mit allen Fragen betraut, welche den Brennstoffkreislauf betrafen. Der Arbeitskreis stand unter der Leitung von Alfred Boettcher, der damals bei der Degussa tätig war und später die technische Leitung der neugegründeten Kernforschungsanlage Jülich übernahm.

Inzwischen hatte der 1955 aus der UdSSR zurückgekommene Physiker Gernot Zippe bei der Degussa an dem Zentrifugenverfahren weitergearbeitet. Als diese Arbeiten bekannt wurden, gab es einige Aufregungen. Ganz unvorbereitet wurde Bundeskanzler Adenauer bei einem Besuch in Washington im Frühjahr des Jahres 1960 darauf angesprochen. Offensichtlich hatten die Amerikaner die deutschen Entwicklungen, über die ja in aller Öffentlichkeit berichtet wurde, genau beobachtet. Sie hatten ihrerseits das Zentrifugenverfahren zwar weiterverfolgt, aber darauf niemals viel Interesse verwandt. Nun befürchteten sie, daß man damit schneller als mit dem Diffusionsverfahren, d.h. in kleinen, aber wenigen Stufen, zu hochangereichertem Uran kommen könnte. Sie waren besorgt, daß so die Atombombe unerwünschten Außenseitern zugänglich würde. Deshalb verlangten sie sehr eindringlich, daß dieses Zentrifugenverfahren für geheim erklärt würde. Eine amerikanische Delegation kam nach Bonn und erreichte schließlich auch ihr Ziel: die Bundesregierung verfügte die Geheimhaltung.

Die Börse schaltet schnell

Als die amerikanische Forderung durchsickerte, gab es natürlich Aufregungen an der Börse. Während der Tagung des Verbandes der Chemischen Industrie in München im Oktober 1960 berichtete die Presse plötzlich über diesen Vorgang. Die Degussa-Aktien stiegen daraufhin – ohne Hinzutun des Unternehmens – von ihrem damaligen Kurs, der bei etwa 750–800 lag, auf über 1500.

Sehr bald mußte die Börse zur Kenntnis nehmen, daß die Erwartungen viel zu hoch gespannt waren und ein unmittelbares wirtschaftliches Ergebnis für die Degussa aus diesem Projekt nicht erzielt werden konnte. Die Aktien gingen dann wieder auf ihren normalen Kurs zurück.

Die Forderung nach Geheimhaltung erhoben die Amerikaner auch gegenüber Holland und England, wo ähnliche Zentrifugenversuche liefen. Dieses Ansuchen wurde in den Kreisen, die an der Kernenergie interessiert waren, sehr bedauert und kritisiert. Wissenschaft und Industrie betrachteten den amerikanischen Schritt als eine unberechtigte Einmischung und die Geheimhaltung als einen Verstoß gegen das Prinzip, wonach alle Arbeiten öffentlich bekannt sein sollten.

Aus der Zeit des Dritten Reiches gab es noch die Erfahrung, daß Projekte und Ergebnisse, die der Geheimhaltung unterlagen, sich leicht der sachlichen Kritik entzogen und deshalb schlechte Fortschritte machten. Zudem erinnerten sich viele der Unannehmlichkeiten, die ihnen nach dem Kriegsende aus solchen »Geheimen Kommandosachen« – wie sie damals hießen – erwachsen waren. Schon hieß es wieder in der Weltpresse: »Atomschock durch deutsche Erfindung.«

Baustopp bei Zentrifugenanlage

Diese Geheimhaltungs-Entscheidung hat der Entwicklung des interessanten Verfahrens außerordentlich geschadet. Die Degussa stellte ihre Arbeiten ein. Auch die Bonner Arbeitsgruppe konnte sie nicht fortsetzen. Es dauerte zunächst vier Jahre, bis der Bund die entstandenen Schwierigkeiten so weit beseitigt hatte, daß im August 1964 die »Gesellschaft für Kernverfahrenstechnik«

(GKT) mit dem Sitz in Jülich gegründet werden konnte. Sie sollte die Zentrifugen weiterentwickeln. Eigentümer war der Bund, der aber die Arbeiten ohne Berater aus Wissenschaft und Technik schlecht weiterführen konnte. Die Deutsche Atomkommission durfte nichts mehr erfahren. Das Zentrifugenverfahren verschwand aus der Diskussion. Erst als in der Folge bekanntwurde, daß in England und Holland Fortschritte gemacht worden waren, erwachte erneut das Interesse.

Im Jahre 1969 wurde die »Uranit GmbH« gegründet, an der sich die »Nukem« und die Gelsenberg AG mit je 40%, Hoechst mit 20% beteiligten. Sie sollte eine Zentrifugenanlage bauen und betreiben. Dadurch wurden die Bemühungen verstärkt.

Es stellte sich heraus, daß in Jülich schon beachtliche Fortschritte erzielt worden waren. Durch Vermittlung der Bundesregierung kam es 1971 zur Gründung der »Urenco«, an der Großbritannien durch die British Nuclear Fuels Ltd., Holland durch die Ultra-Centrifuge Nederland N.V. und Deutschland durch die Uranit zu je einem Drittel Anteile haben.

Aufgabe der Urenco ist es ebenfalls, Zentrifugenanlagen zu bauen und zu betreiben. Daneben wurde die Centec (Gesellschaft für Zentrifugentechnik mbH, Bensberg) gegründet, welche die Weiterentwicklung und vor allem die Herstellung der Zentrifugen übernommen hat. An der Centec sind auf britischer Seite wiederum die British Nuclear Fuels Ltd. (BNFL), auf holländischer Seite die Ultra-Centrifuge Nederland N.V. und auf deutscher Seite die Gesellschaft für Nuklear-Verfahrenstechnik mbH (GNV) beteiligt. Gesellschafter der GNV sind die Maschinenfabrik Augsburg–Nürnberg (MAN) und Interatom. Durch diese Gründung sollten die in den drei Ländern gewonnenen Erfahrungen ausgewertet werden, wenn auch die Zusammenarbeit in einer solchen internationalen, weitgehend von den Staaten beeinflußten Gesellschaft viele protokollarische Schwierigkeiten mit sich bringt. Gleich zu Anfang beschloß man, die in Jülich erarbeiteten Konstruktionen sofort in Almelo in Holland in einer Prototypanlage anzuwenden. Die Urenco plant ferner, innerhalb der nächsten Jahre eine erste Großanlage zu errichten, für die aber der Standort noch nicht feststeht.

Das Trenndüsenverfahren

In den ersten Jahren der deutschen Nachkriegsaktivität im Bereiche der Kernenergie entstand noch eine dritte Methode, das Trenndüsenverfahren. Erwin W. Becker, der jetzt Leiter des Instituts für Kernverfahrenstechnik in Karlsruhe ist, begann damit schon in den fünfziger Jahren als Assistent in Marburg und setzte die Arbeiten dann in Karlsruhe fort. Bei diesem Verfahren wird ein Gemisch aus Uranhexafluorid und Helium oder Wasserstoff mit großer Geschwindigkeit durch eine Düse gedrückt und der austretende Gasstrahl anschließend um 180° umgekehrt. Dabei entsteht ein Trenneffekt, der wirkungsvoller ist als bei der Diffusion, aber geringer als bei der Zentrifuge. Die Steag AG hat sich dieses Verfahrens angenommen und fördert den Fortgang der Arbeiten. Der Nachteil ist wohl zur Zeit vor allen Dingen noch der hohe Energiebedarf.

In letzter Zeit ist ein weiteres System aus Südafrika bekanntgeworden, über dessen Einzelheiten man wenig weiß, das aber mit dem Trenndüsenverfahren einige Verwandtschaft zu haben scheint. Auch hier hat sich inzwischen eine Zusammenarbeit mit der Steag angebahnt.

Uran unter Laserbeschuß

In den USA laufen neuerdings Versuche mit dem Ziel, Laserstrahlen zur Trennung der Uran-Isotope einzusetzen. Die scharf definierten Wellenlängen des Laserlichtes gestatten eine selektive Anregung des einen Isotops, ohne daß das andere davon berührt wird. Wenn man das Isotop U 235 auf diese Weise aktiviert hat, kann man es von dem nichtaktivierten U 238 durch chemische Reaktionen abtrennen. Natürlich ist die Anregung in einem exakt isotopenspezifischen Wellenbereich notwendig, da sonst die erforderliche hohe Energieansammlung nicht erreicht wird. Ein anderer Weg besteht darin, das angeregte U 235 durch eine weitere Bestrahlung mit Laserstrahlen bestimmter Frequenz bis in den Ionisationszustand zu bringen und dann im elektrischen Feld die U-235-Ionen vom nichtionisierten U-238-Anteil zu trennen.

Diese Laserverfahren stehen noch am Anfang der Entwicklung. Das einfache Prinzip und der möglicherweise hohe Wirkungsgrad lassen die neue Idee interessant erscheinen.

Brennelemente

Die Kernbrennstoffe, die in Form von metallischem Uran, von Urankarbid (UC) und Uranoxid (UO_2) verwendet werden, müssen zur Erzeugung der Kernenergie im Reaktor in Röhrenkonstruktionen so eingebaut werden, daß im Innern der umhüllenden Röhren die Kernreaktion stattfindet und nur die erzeugte Wärme durch die Wandungen nach außen tritt. Das Material und die Ausführung der Hüllrohre müssen so gewählt werden, daß alle Zerfallsprodukte, die beim Kernprozeß entstehen, durch die Rohrwandung zurückgehalten werden.

Während aus dem Kernbrennstoff alle Beimengungen entfernt werden müssen, welche den Neutronenfluß hemmen, sind für die Hüllrohre Materialien notwendig, welche die Neutronen nicht oder wenig absorbieren.

Der Kernbrennstoff, der in den meisten Fällen aus UO_2 besteht, wird in Form von Tabletten eingesetzt. Diese Tabletten, sogenannte »Pellets«, haben bei Leichtwasserreaktoren einen Durchmesser von 9–13 mm und eine Höhe von etwa 10 mm. Sie werden durch Pressen und Glühen bei etwa 1600°C auf eine Dichte gebracht, die rund 95 % der theoretischen Dichte des UO_2 entspricht. Anschließend schleift man sie genau auf den vorgesehenen Durchmesser. Sie werden in die Rohre durch Schweißen gasdicht eingeschlossen.

Viele solcher Brennelementerohre (»pins«) werden in Bündeln zu »Brennelementen« vereinigt, die wiederum zu einigen hundert in vorausberechneter Anordnung das Core des Kernreaktors darstellen.

In dieser Anordnung liegt die erste und schwierigste Hürde für die Sicherheit des Reaktors, aber auch die Voraussetzung für die Optimierung des Neutronen- und Wärmeflusses. Solche Brennelemente verbleiben zwei bis drei Jahre im Reaktor und müssen alle Temperaturschwankungen aushalten. Sie müssen gasdicht

bleiben und dürfen ihre Form nicht im geringsten verändern. Über einen großen Zeitraum hinweg müssen die Brennelemente innerhalb des Cores gegeneinander frei beweglich sein, damit sie ausgewechselt werden können. Zwischen den Brennelementen müssen sich die Regelstäbe frei bewegen können, mit denen jederzeit ein Abschalten des Reaktors erreicht werden kann.

Hochentwickelte Metallurgie

Die Qualität der Brennelemente ist entscheidend für Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des Reaktors. Sie sind ein integrierender Bestandteil einer jeden Reaktorkonstruktion.

Die Herstellung der Kernbrennstoffe und der Hüllrohrmaterialien erfordert eine hochentwickelte metallurgische und technische Erfahrung. Die Bearbeitung bedarf vieler spezieller Kenntnisse. Deswegen war es von Beginn an wichtig, sich dieser Fragen besonders anzunehmen. Schon in den ersten Monaten der Deutschen Atomkommission wurde in dem Arbeitskreis »Brenn- und Baustoffe für Kernreaktoren« diese Aufgabe in Angriff genommen. Es war das Verdienst der Degussa in Frankfurt, daß sie mit ihrer großen Erfahrung bei der Reindarstellung und Verarbeitung edler und seltener Metalle dieses Problem auch von industrieller Seite frühzeitig und erfolgreich aufgriff.

Ein Bedarf an Brennelementen aus einheimischer Produktion schien zunächst einmal nicht vorhanden zu sein, da die in Deutschland errichteten Forschungsreaktoren im Ausland gekauft waren. Infolgedessen wurde auch der dafür erforderliche Brennstoff innerhalb der bilateralen Verträge aus den USA und Großbritannien mitgeliefert.

Die erste Möglichkeit der Eigenproduktion von Brennelementen ergab sich mit dem Reaktor FR 2 in Karlsruhe. Die Elemente für diesen Reaktor, die aus Natururan bestanden, wurden bei der Degussa in Wolfgang aus Urankonzentraten hergestellt.

Auch die ersten Brennelemente aus angereichertem Ausgangsmaterial, das aus den USA bezogen wurde, fertigte die Degussa für einen Argonaut-Forschungsreaktor der Firma Siemens in München an.

40 Tonnen Uranoxid in Reserve

Als in der Bundesrepublik Deutschland einige Übersicht über den mutmaßlichen Verbrauch gewonnen worden war, schloß die Bundesregierung 1959 mit der Degussa einen Vertrag ab, der sicherstellte, daß sie während der nächsten fünf Jahre jährlich 40 Tonnen nuklearreines Uranoxid bzw. Uranmetall produzieren und daraus zu gegebener Zeit Brennelemente fertigen konnte. Damit war ein Grundstein für eine erste, wenn auch kleine industrielle Brennelementeherstellung gelegt.

Deswegen gründete die Degussa 1960 zusammen mit der Metallgesellschaft, Frankfurt, dem RWE und der Rio Tinto Zinc, London, die Nukem mit Sitz und Produktion in Wolfgang bei Hanau. Sie spielt seitdem eine maßgebende Rolle auf dem deutschen Brennelementemarkt.

Die Herstellung und Konstruktion eines Brennelements kann nicht wie andere Komponenten des Brennstoffkreislaufes für sich allein gesehen werden. Sie wird durch die Reaktorauslegung und die geplante Betriebsweise beeinflußt. Es ist daher verständlich, daß die deutschen Reaktorbaufirmen wie Siemens und AEG von Anfang an auch an eine eigene Brennelementeentwicklung dachten.

All diese Bemühungen führten zu dem erfreulichen Ergebnis, daß unter Förderung der Bundesregierung sehr frühzeitig in Deutschland eine eigene Basis zur Brennelementeherstellung zur Verfügung stand. Der Erfolg zeigte sich bald. Die Brennelemente für das Versuchsatomkraftwerk in Kahl (VAK) und das Kernkraftwerk Gundremmingen (KKG) wurden noch aus den USA importiert. Die meisten übrigen Brennelemente für die inzwischen in der Bundesrepublik Deutschland gebauten Leistungsreaktoren konnten z.T. gegen erhebliche ausländische Konkurrenz im eigenen Lande beschafft werden.

Auch die Herstellung der Hüllrohre bedurfte zunächst einer besonderen Aufmerksamkeit. Geeignete Rohre können aus Stahl, Zirkon, Magnesium und Aluminium bestehen. Als beliebtester Baustoff hat sich Zircaloy, eine Legierung von Zirkon mit 2–4% Zinn, durchgesetzt. Solche Rohre können heute im technischen

Ausmaß bezogen werden. Die Kosten für die Beschaffung der Hüllrohre sind beträchtlich. Sie betragen etwa die Hälfte der Kosten für die Brennelementeherstellung. Ein 1200 Megawatt-Leichtwasserreaktor vom Typ Biblis enthält etwa 200000 m solcher Zircaloyrohre.

Die Wiederaufarbeitung im Brennstoffkreislauf

Während des Reaktorbetriebes verarmt der Brennstoff an spaltbarem Material. Die Brennelemente müssen deshalb nach einer gewissen Zeit aufbereitet werden, weil die entstehenden Zerfallsprodukte Neutronen absorbieren, die Kettenreaktion hemmen und schließlich sogar zum Erliegen bringen.

Die Abbrandzeit und die Ausnutzung des Spaltstoffs beim Durchgang durch den Reaktor sind für die Wirtschaftlichkeit wichtig. Nach dem Herausnehmen aus dem Reaktor müssen die Brennelemente vollständig zerlegt werden, um den Inhalt aufzubereiten. Diese Wiederaufarbeitung ist zu einem wesentlichen Bestandteil des Brennstoffkreislaufes geworden. Sie ist mit großem wirtschaftlichem und technischem Aufwand verbunden, da sie wegen der starken Strahlung der Spaltprodukte unter erschwerenden Bedingungen, d. h. hinter starken Betonwänden, den sogenannten heißen Zellen, erfolgen muß.

Bei dem Uranzerfall entstehen nämlich als Elemente niedrigeren Atomgewichts die Spaltprodukte, wie z.B. Krypton 85, Jod 131, Strontium 90 und Tritium, alles stark strahlende Isotopen. Außerdem aber enthalten die ausgebrannten Brennstoffe noch wertvolle Anteile an U 235, die aus wirtschaftlichen Gründen wiedergewonnen werden müssen. Schließlich entstehen durch Neutronenbeschuß von U 238 auch schwerere Elemente mit einer Massenzahl von mehr als 92, unter denen das Plutonium mit der Ordnungszahl 94 das interessanteste ist.

Schon lange vor 1938 hatte man vermutet, daß es jenseits des Urans schwerere Elemente gäbe, die man Transurane nannte. Bereits 1934 hatte Enrico Fermi das Uran mit Neutronen bestrahlt und geglaubt, Transurane erzeugt zu haben. Im gleichen Bestreben

entdeckten Otto Hahn und Fritz Strassmann 1938 statt der Transurane die Kernspaltung in leichtere Atome.

Erst im Jahre 1940 fanden die amerikanischen Kernphysiker Edwin Mattison McMillan, J. W. Kennedy, Glenn Theodore Seaborg und A. C. Wahl mit Hilfe des Zyklotrons in Berkeley das Neptunium mit der Kernladungszahl 93. Das war das erste künstlich erzeugte Transuran. Anschließend bestrahlten sie Uran mit Kernen des schweren Wasserstoffs – mit Deuterium – und kamen dabei zu einem weiteren künstlichen Element mit der Ordnungszahl 94, das nach dem Planeten Pluto Plutonium genannt wurde.

Schon während des Zweiten Weltkrieges hat in Deutschland Carl Friedrich von Weizsäcker erkannt, daß man auch durch die bei der Kernspaltung freiwerdenden Neutronen im Reaktor das Uran 238 in neuen Spaltstoff, das Plutonium, verwandeln könnte. Er sah darin schon damals eine Möglichkeit, unter Umgehung der komplizierten Urananreicherung zu Spaltstoff zu gelangen.

Und zwar entstehen mehrere Plutoniumisotopen, Pu 239, Pu 240 und Pu 241, von denen Pu 239 und Pu 241 in derselben Weise spaltbar sind wie U 235. Alle Plutoniumisotopen haben die Kernladungszahl 94 und lassen sich deswegen mit einfachen chemischen Mitteln vom Uran trennen.

Die Amerikaner haben während des Zweiten Weltkrieges die Plutoniumgewinnung aus Kernreaktoren außerordentlich forciert. Bei der zweiten, im Jahre 1945 über Nagasaki in Japan abgeworfenen Atombombe diente das Plutonium als Kernbrennstoff.

Wegen der hohen militärischen Bedeutung wurden die Wiederaufarbeitungsverfahren nach dem Kriege zunächst streng geheimgehalten. Es entstanden große Plutoniumkapazitäten in den USA und England, später auch in der UdSSR, zumal man das Plutonium inzwischen auch als Zündmittel für die Wasserstoffbombe angewendet hatte. Aus dem gleichen militärischen Interesse wurde auch eine Anlage in Frankreich gebaut.

Plutonium – heiße Zellen

Wegen der strengen Geheimhaltung waren Einzelheiten über die Wiederaufarbeitung und die Gewinnung von Plutonium für

Deutschland bis zum Jahre 1955 nicht zugänglich. Da die Chemiker aber den Umgang mit radioaktiven Isotopen erlernen wollten, schon um die ausgebrannten Brennelemente eines Tages aufbereiten und verwerten zu können, errichtete man sowohl in Karlsruhe als auch in Jülich heiße Zellen, in denen mit Substanzen hoher Radioaktivität gearbeitet werden konnte.

Die Deutsche Atomkommission befaßte sich schon in ihren ersten Sitzungen 1956 mit diesem Problem und erkannte seine wirtschaftliche Bedeutung. Aber für die Wiederaufarbeitung blieb noch Zeit, bis in einigen Jahren die ersten ausgebrannten Brennelemente anfallen würden. Interessanter war schon das Plutonium, das als Kernbrennstoff eingesetzt werden konnte, solange eine Urananreicherungsanlage nicht zur Verfügung stand. Auch dieser Teil des Problems war schwierig anzufassen. Plutonium für tastende Versuche gab es nicht. Es war zunächst auch wenig Aussicht, es von den Atommächten zu erhalten. Andererseits drängten die Chemiker in den Arbeitskreisen darauf, das Problem der Wiederaufarbeitung anzupacken. Sie wußten, welche Probleme Rückstandsaufbereitungen mit sich bringen, und ahnten, daß man gerade hier auf große Schwierigkeiten stoßen würde.

Eine erste nützliche Aktivität in dieser Richtung ging von der OEEC aus. Im Jahre 1957 beschlossen die europäischen OEEC-Länder die Einrichtung einer Gemeinschaftsanlage in Mol in Belgien. Diese Anlage erforderte Investitionen in Höhe von etwa 150 Millionen DM und war auch in ihren Betriebskosten sehr aufwendig. Immerhin bot sie lange Zeit interessante experimentelle Möglichkeiten, bis sie schließlich im Juni 1974 stillgelegt wurde.

Die Errichtung und lange Zeit auch die Leitung der Anlage in Mol lagen in den Händen von Erich Pohland, Ministerialrat im Atomministerium, der sich um das Zustandekommen dieser Aktivität sehr bemüht hatte. Dort in Mol konnten die verschiedenen Aufbereitungsverfahren erprobt werden.

Für die Durchführung eines kalkulierbaren wirtschaftlichen Betriebes, aus dem man Erfahrungen für eine Fabrikationsanlage hätte gewinnen können, waren diese Einrichtungen jedoch nicht geeignet.

Am 6. Mai 1960 erstattet Leopold Küchler, Direktor der Abtei-

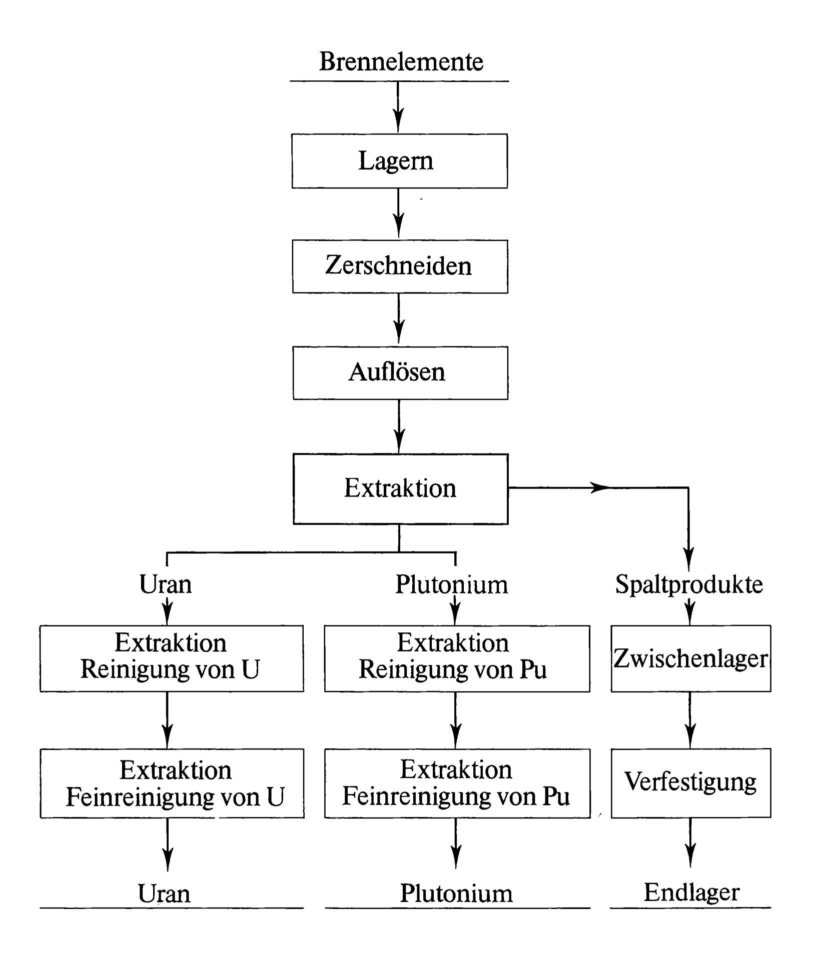
lung Chemische Verfahrenstechnik bei Hoechst und Professor für physikalische Chemie an der Universität Frankfurt, im Arbeitskreis III/2 »Brennstoffe und Baustoffe für Kernreaktoren« der Deutschen Atomkommission einen zusammenfassenden Bericht über die Wiederaufarbeitung von bestrahlten Kernbrennstoffen.

Zur Begründung der Auswahl des Verfahrens sagt er: »Es ist das Lösungsmittel-Extraktionsverfahren, das heute ausschließlich zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen verwendet wird, alle anderen Verfahren wurden entweder wieder aufgegeben (z.B. Plutoniumgewinnung im Wismutphosphatprozeß) oder befinden sich noch im Entwicklungsstadium (Fluoriddestillation, Oxidschlackenschmelzung, Metallextraktion, Salzschmelzextraktion). Nach dem jetzigen Stand dürfte von all diesen Verfahren höchstens die Fluoriddestillation eine breitere technische Anwendung gewinnen, und zwar für die Wiederaufarbeitung von hochangereichertem Uran.«

Und später: »Die Farbwerke Hoechst haben ein Vorprojekt für eine solche Versuchsanlage ausgearbeitet. Sie haben sich bereit erklärt, die Anlage zu bauen und zu betreiben unter der Voraussetzung, daß eine Form der Finanzierung gefunden wird, die einerseits mit dem privatwirtschaftlichen Charakter des Vorhabens zu vereinbaren ist und andererseits die Gewähr gibt, daß den Farbwerken Hoechst keine Verluste durch dieses Vorhaben entstehen. Die Verhandlungen mit dem Bundesatomminister über diese Fragen sind noch im Gange.«

Plutonium wird Kernbrennstoff

Verhältnismäßig einfach eröffnete sich der Zugang zur Plutoniumtechnologie. Auf diesem Gebiet kam frühzeitig eine Zusammenarbeit innerhalb von Euratom zustande. Ende 1962 konnte man nach dreijährigen Verhandlungen die Errichtung eines Transurane-Institutes in Angriff nehmen, das mit einem Aufwand von 85 Millionen DM in Karlsruhe gebaut wurde.



Schema der Wiederaufarbeitung

Dieses Euratominstitut – übrigens die einzige wissenschaftliche Institution von Euratom, die jemals in die Bundesrepublik Deutschland gelegt wurde – sollte die Verwendungsmöglichkeiten für Transurane, speziell aber die Herstellung von Brennelementen aus Plutonium bearbeiten.

Unabhängig davon begann auch die deutsche Industrie über die Handhabung des Plutoniums und seine Verarbeitung zu Brennelementen nachzudenken. Die Pläne, die in der Fachkommission III und in dem zuständigen Arbeitskreis der Deutschen Atomkommission lange diskutiert wurden, führten zu einem längerfristigen Arbeitsprogramm, das der im Jahre 1964 von der Nukem gegründeten Alkem (Alpha-Chemie und -Metallurgie GmbH) übertragen wurde. Diese Gesellschaft, die heute zu 40% der Nukem und zu je 30% der AEG und Siemens gehört, errichtete nach Vorarbeiten in Karlsruhe auf dem Gelände der Degussa in Wolfgang bei Hanau eine größere Anlage zur Erzeugung von Brennelementen auf der Basis von Plutonium mit einer Kapazität von 20–40 Tonnen PuO_2–UO_2 im Jahr. Damit sollten hauptsächlich die Voraussetzungen für die Produktion der Brennelemente des Schnellen Brüters geschaffen werden. Das Plutonium für die ersten Versuche wurde im Rahmen von Staatsverträgen aus den USA bezogen. Eine Eigenerzeugung von Plutonium war damals noch nicht möglich.

Wiederaufarbeitung erzeugt Probleme

Überraschend stark waren die Widerstände gegen die Errichtung einer eigenen größeren Wiederaufarbeitungsanlage von ausgebrannten Kernbrennstoffen. Leopold Küchler hatte in einem heißen Laboratorium von Hoechst anhand des wenigen, das bekanntgeworden war, die Grundlagen des Verfahrens ermittelt. Gegen den Plan, wie er 1964 erneut vorgetragen wurde, regten sich außen- und innenpolitische Widerstände.

Die Amerikaner wachten eifrig darüber, daß kein Plutonium in unerwünschte Hände kam. Bald machte deswegen die amerikanische Atomenergiekommission den Vorschlag, den gesamten Brennstoffkreislauf für die Bundesrepublik Deutschland zu übernehmen. Als man darauf nicht einging, weil es das Ende einer eigenständigen deutschen Kernenergiepolitik bedeutet hätte, setzte der Wettbewerb der amerikanischen Industrie ein, der mit einer recht aktiven Propaganda in Deutschland, insbesondere auch in Bonn, verbunden war. Man hatte damals in einer Mischung von

politischen und privatwirtschaftlichen Interessen wohl auch noch die Vorstellung, daß es sich hierbei später einmal um ein ertragreiches Geschäft handeln könne.

Von dieser Ansicht waren die Chemiker von Hoechst weit entfernt. Sie wußten, daß diese Anlage eine gewisse Mindestgröße haben müßte, um die wirklichen Schwierigkeiten und auch die Betriebskosten ermitteln zu können. Das aber erforderte mit allen Sicherheitsmaßnahmen eine Investition von nahezu 100 Millionen DM. Die Reaktorindustrie hatte an einem solchen Projekt kein Interesse. Sie rechnete aus, daß auf die letztlich entstehenden Stromkosten die Wiederaufarbeitung keinen sehr großen Einfluß haben würde. Das Atomministerium und vor allen Dingen das Finanzministerium hörten daher gern, daß alle diese Pläne der Chemiker gar nicht so wichtig waren.

Der unbewältigte Müll

Schließlich gründeten Hoechst und Nukem mit je 50% die Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen in Karlsruhe (GWK). Die GWK sollte die Anlage, die den Namen Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) erhielt, auf Staatskosten errichten und betreiben und die technische Verantwortung dafür übernehmen. Erster technischer Geschäftsführer wurde Leopold Küchler. Später gaben Nukem die Hälfte ihres Anteiles an Gelsenberg, Hoechst von seinen 50% die Hälfte an die Bayer AG ab. Generalunternehmer für die Errichtung der Anlagen war die Ingenieurgemeinschaft Kernverfahrenstechnik (IGK), die aus den Ingenieurfirmen Leybold, Köln; Lurgi, Frankfurt, und Uhde, Dortmund, bestand.

Auch von der Auswahl des Verfahrens her war diese Entscheidung keine Selbstverständlichkeit. Gegenüber der hier gewählten Methode, für das in der Welt eine wenn auch Deutschland nicht zugängliche Erfahrung bestand, gab es wohlgemeinte Anregungen für neue Wege. Amerikanische Firmen empfahlen andere Verfahren, welche den Einsatz von wäßrigen und organischen Lösungen, die bei dem bisherigen System von vornherein Schwierigkeiten verursachen mußten, vermeiden sollten. Es ging dabei um Pro-

zesse, die auf pyrometallurgischem Wege ablaufen sollten. Eine größere Anlage, die auf der unterschiedlichen Verflüchtigung der Fluoride beruhte, wurde in Amerika gebaut und erwies sich als ein Fehlschlag.

Auch die Physiker in Karlsruhe waren von der Nachbarschaft einer Wiederaufarbeitungsanlage nicht begeistert. Man verbannte sie an einen Standort außerhalb des eigentlichen Kernforschungszentrums, da man von ihr möglicherweise Belästigung durch Strahlung und Störungen für die Exaktheit der Meßergebnisse befürchten mußte. So war dieses Arbeitsfeld von Beginn an ein Stiefkind der deutschen Kernenergiepolitik. Erst heute hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, wie notwendig die Wiederaufarbeitung ist.

Brennelemente im Wasserbecken

Die WAK ging im Jahre 1971 in Betrieb. Sie war für einen Durchsatz von 40 Tonnen Uran im Jahr angelegt. Diese Menge entspricht in etwa dem Anfall an ausgebranntem Uran bei einem Leichtwasserreaktor von 1200–1300 Megawatt vom Typ Biblis. Nach einer Abbrandzeit von ca. drei Jahren ist das zu Beginn auf drei Prozent angereicherte Uran bis auf 0,6–0,9% U 235 ausgebrannt, dafür enthält der Brennstoff 0,5–1% Plutonium. Außerdem sind in ihm die Spaltprodukte und Transurane, die zumindest bei der Herausnahme aus dem Reaktor eine hohe Radioaktivität haben, vorhanden. Die ausgebrannten Brennelemente müssen deswegen unter starken Sicherheitsvorkehrungen hinter dicken Bleiwänden transportiert und zunächst in einem Wasserbecken gelagert werden, wo sich in 100 bis 150 Tagen die kurzlebigen Spaltprodukte zersetzen und in ihrer Radioaktivität abklingen.

Die erste Stufe der Wiederaufarbeitung bezeichnet man als das sogenannte »head end«. Jedes Brennelement wird mit einer Bündelschere zerschnitten. Dabei braucht es nicht in seine Einzelstäbe zerlegt zu werden. Vielmehr wird es als Ganzes durch eine Schere geschoben; jeder Schnitt trennt dann wenige Zentimeter lange Einzelstücke ab. Diese Einzelstücke werden mit heißer Salpeter-

säure behandelt, wobei die leeren Hüllrohrabschnitte zurückbleiben. Die bei der Auflösung entstehenden Abgase durchströmen Wäsche und Filter und werden dabei von Stickoxiden, Aerosolen und Jod befreit. Eine Zurückhaltung des radioaktiven Krypton 85, das bei dieser Gelegenheit frei wird, muß für eine spätere große Wiederaufarbeitungsanlage vorgesehen werden. Zur Zeit sind diese Mengen so gering, daß sie bei der Belastung der Umgebung keine Rolle spielen und deshalb an die Atmosphäre abgegeben werden können.

Uran und Plutonium getrennt

Nun schließt sich die Abtrennung des Urans und des Plutoniums von den Spaltprodukten mittels einer flüssigen Extraktion im Gegenstromverfahren an. Nach der Einstellung auf eine gewisse Salpetersäure- und Urankonzentration durchläuft die Lösung den ersten Extraktionszyklus, in dem Uran und Plutonium zunächst gemeinsam von den Spaltprodukten abgetrennt werden. Als Lösungsmittel für diese Trennung benutzt man ein Gemisch von Tributylphosphat in n-Dodekan.

Die uran-plutoniumhaltige organische Phase wird danach mit Salpetersäure behandelt, wobei das vierwertige Plutonium mit Hilfe einer Uran-Salz-Lösung zum dreiwertigen Plutonium reduziert wird. Das dreiwertige Plutonium tritt dabei aus der organischen Phase in die wäßrige Phase über und trennt sich somit vom Uran.

Schließlich wird das Uran aus seiner organischen Phase mit einer geeigneten Salpetersäurekonzentration in die wäßrige Phase zurückgebracht. Uran und Plutonium liegen nunmehr in getrennten wäßrigen Nitratlösungen vor und können nach geeigneter Reinigung isoliert werden.

Uranylnitrat wird über UF_6 in die Anreicherungsanlage zurückgeführt. Aus der Plutoniumnitratlösung wird Plutonium mit Oxalsäure als Oxalat ausgefällt und in Plutoniumoxid umgewandelt.

Die in der ersten Stufe abgetrennte wäßrige Lösung enthält mehr als 99% der Spaltprodukte. Sie wird konzentriert und in

wäßriger Form innerhalb der Anlage in Kühltanks gelagert. Einen technisch ausgereiften Prozeß zur Verfestigung der Spaltprodukte gibt es bisher nicht.

Für die Planung einer weiteren Anlage muß eine Lagerung größeren Stils vorgesehen werden.

Das so einfach erscheinende Verfahren erfordert eine Fülle von Nebenprozessen, wobei die Salpetersäure durch Destillation wiedergewonnen werden und die Reinigung der Lösungsmittel mit Hilfe von Bicarbonat auch die Abtrennung radiolytischer Zersetzungsprodukte einschließen muß.

Alle Vorgänge müssen wegen der hohen Radioaktivität der Produkte hinter dicken Betonwänden und mit Fernbedienung durch mechanische Hände gesteuert werden. An das Ingenieurwesen werden bei der Errichtung große Ansprüche gestellt, da die Anlage, ist sie erst einmal in Betrieb genommen worden, dann erst wieder nach langer Wartezeit und unter Beachtung strenger Sicherungsmaßnahmen betreten werden darf.

Im stillgelegten Salzbergwerk ...

Heute wird in den meisten Ländern nach Wegen gesucht, die radioaktiven Abfälle nach einer gewissen Lagerungszeit, während der ein Teil der Aktivität durch den Zerfall der Radionuklide abklingt, einzudampfen und in nichtreaktionsfähige Gläser oder keramische Massen überzuführen. Diese Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen.

Für die Lagerung solcher Feststoffe wie auch anderer fester radioaktiver Materialien, deren Menge von Jahr zu Jahr zunimmt, ist für die nächsten Jahrzehnte in Deutschland ein zentraler Ort, nämlich ein stillgelegtes Salzbergwerk bei Asse in der Nähe von Wolfenbüttel, vorgesehen.

Die Wiederaufarbeitungsanlage in Karlsruhe hat inzwischen viele Erfahrungen gesammelt. Sie hat Brennelemente aus den verschiedensten Reaktoren der Bundesrepublik Deutschland aufgearbeitet.

Eine der Schwierigkeiten, die auch bei fast allen ausländischen Wiederaufarbeitungsanlagen zu beobachten ist, besteht darin, daß

das organische Lösungsmittel bei stark ausgebrannten Brennelementen einer allzu intensiven Strahlung ausgesetzt ist, die zur Zersetzung führt. Diese Schwierigkeiten stellen ein zur Zeit noch nicht voll gelöstes Problem dar.

Die in Hoechst gemeinsam mit dem Kernforschungszentrum Karlsruhe erworbenen Erfahrungen haben inzwischen zu einer internationalen Zusammenarbeit geführt. Die an der GWK beteiligten Firmen gründeten zu diesem Zweck die KEWA. Durch Vermittlung der Bundesregierung kam es im Jahre 1971 zur Gründung der United Reprocessors GmbH, an der Frankreich, Großbritannien und die KEWA zu gleichen Prozentsätzen beteiligt sind. Auf diese Weise werden nunmehr die Erfahrungen ausgetauscht, und es wird eine Großanlage, die Anfang der achtziger Jahre betriebsfertig sein muß, vorbereitet.

Bei dieser gegenseitigen Unterrichtung und zum Teil durch direkte Informationen aus den USA ist bekanntgeworden, daß auch dort die Wiederaufarbeitungsanlagen ähnlich große Schwierigkeiten machen. Es wird deswegen noch vieler Vorbereitungsarbeiten bedürfen, bis man zufriedenstellende Resultate erhält. Außerdem benötigt man für neue Reaktortypen auch ganz neue Verfahren zur Aufarbeitung, die erst entwickelt werden müssen.

Das zentrale Problem bleibt die Endlagerung der radioaktiven Abfälle. Sie kann auf lange Sicht nicht mit nationalen Maßnahmen bewältigt werden. Hierfür muß es zu einer weltweiten internationalen Zusammenarbeit kommen.

Wie lange reicht das Uran?

Bei oberflächlicher Betrachtung erscheinen die aus dem Uran gewinnbaren Energiemengen außerordentlich groß. Man kann aus einem Kilogramm Uran 235 in einem Leichtwasserreaktor jetziger Konstruktion etwa zehn Millionen Kilowattstunden gewinnen. Hierzu würden 2500 Tonnen Steinkohle in einem Kohlekraftwerk benötigt. Der Uranvorrat auf der Erde, soweit er nach zur Zeit geltenden wirtschaftlichen Maßstäben als gewinnbar betrachtet wird, ist mit ca. 1,8 Millionen Tonnen anzusetzen. Es ist aber durchaus möglich, daß sich diese Mengen durch zusätzliche Prospektierun-

gen noch vergrößern lassen, und daß man auch an die Wirtschaftlichkeit eines Tages andere Ansprüche stellt.

Da im Natururan nur 0,7 Prozent U 235 enthalten sind, steht ein Vorrat von ca. 12600 Tonnen U 235 zur Verfügung, was einer Menge von ungefähr 30 Milliarden Tonnen Steinkohle gleichkommt. Durch das im Leichtwasserreaktor entstehende Plutonium kommt noch etwa die Hälfte hinzu, so daß der Uranvorrat einem Äquivalent von ca. 45 Milliarden Tonnen Steinkohle entspricht.

Wenn man in der ganzen Welt auch nur 20% des gesamten Energieverbrauches durch Kernenergie aus Leichtwasserreaktoren ersetzen wollte, so würde dieser Uranvorrat doch nur für drei bis vier Jahrzehnte reichen. Das wäre sicher nur ein kurzfristiger und bescheidener Erfolg für die Einführung einer Technik, die mit so viel technischem und wirtschaftlichem Aufwand verbunden ist. Man kann also bei dieser ersten Stufe nicht stehenbleiben und darf diese Leichtwasserreaktoren nur als eine erste Generation der Kernenergieentwicklung ansehen.

Die Zukunft der Schnellen Brüter

Die Wissenschaftler haben diese Zwangslage schon in den fünfziger Jahren erkannt und die Entwicklung der Schnellen Brüter als fortgeschrittene Reaktoren begonnen. In den Brütern gelingt es, mehr Plutonium aus U 238 zu erzeugen als U 235 verbraucht wird. Bei geeigneter Aufbereitung und Rückführung des Plutoniums in den Reaktor – ein noch zu lösendes Problem – steht dann im Prinzip der gesamte Natururanvorrat der Erde zur Energieerzeugung zur Verfügung. Dieser Vorrat von 1,8 Millionen Tonnen würde dann nach dem heutigen Stand der Überlegungen etwa hundertmal länger ausreichen. Bei einer weitgehenden Einführung des Schnellen Brüters würden also die Uranvorräte der Erde über viele hundert Jahre einen großen Beitrag zum Gesamtenergiebedarf der Menschen leisten können. Man muß wohl daraus folgern, daß die Entwicklung der Schnellen Brüter unausweichlich notwendig ist.

Eine zusätzliche Ausweitung der Vorräte an Kernbrennstoffen liegt in der Möglichkeit, Thorium hinzuzuziehen. Dies gelingt gün-

stig in Hochtemperaturreaktoren (HTR). Wenn man in den Brennelementen der Hochtemperaturreaktoren einen Teil des Urans durch Thorium ersetzt, so wird dieses durch Anlagerung eines Neutrons unter Ausstrahlung von Beta-Teilchen in U 233 umgewandelt, das seinerseits spaltbar ist. U 233 ist ein künstliches, radioaktives Isotop des Urans, das in der Natur nicht vorkommt. Es hat eine Halbwertszeit von 16000 Jahren.

Thorium steht in der Häufigkeit der Elemente an 30. Stelle, damit vor Uran, das den 40. Platz einnimmt. Thoriumlagerstätten, unter anderem als Monazitsand, sind seit langem bekannt und untersucht. Man hat Thorium um die Jahrhundertwende zusammen mit Cer im »Auer-Glühlicht« verwendet, das gemeinsam mit dem Koksofengas die Wohnräume und Büros der Welt von damals erhellte.

Die Konversion von Thorium im Hochtemperaturreaktor zu U 233 kann also den Vorrat an Kernbrennstoffen noch einmal beträchtlich ausweiten. Ob diese Konversion zu einem echten Brutprozeß entwickelt werden kann, ist derzeit noch fraglich und nicht sehr wahrscheinlich. Angesichts des steigenden Energiebedarfs in der Welt wird aber auch diese Methode in den Hochtemperaturreaktoren genutzt werden müssen.

Unerschöpflich ist nur die Kernfusion

Ehe diese Kernbrennstoffe, welche durch die Kernspaltung Energie freisetzen, verbraucht sind, wird es hoffentlich gelungen sein, das Problem der gesteuerten Kernfusion, d.h. die Verschmelzung von Wasserstoffatomen zu Helium, entsprechend den Vorgängen bei der Entstehung der Sonnenenergie, technisch zu lösen. Nachdem sich mit der Entwicklung der Wasserstoffbombe gezeigt hat, daß man diese Reaktion tatsächlich auslösen kann, wird man eines Tages wohl auch in der Lage sein, dieses letzte Problem der Energieversorgung auf der Erde zu lösen. Die Menschheit würde dann über fast unerschöpfliche Energievorräte verfügen.

Das grundlegende Experiment der Kernumwandlung von Hahn und Strassmann hat eine nahezu lückenlose Kette von Folgen nach sich gezogen. Sie alle liegen im Bereich greifbarer Möglichkeiten.

Der erste Schritt der Energieerzeugung im Leichtwasserreaktor erscheint praktisch getan. Er kann jetzt als Stand der Technik angesehen werden. Alles andere – die Anreicherung, der Brennstoffkreislauf ebenso wie die Entwicklung der Brüter und fortgeschrittenen Konverter – befindet sich erst in frühen Stadien. Viele Teilprobleme sind noch nicht gelöst. Aber der Weg ist vorgezeichnet.

Kapitel 10
Der Atomsperrvertrag

Das Jahr 1967 begann nicht verheißungsvoll. Zumindest nicht für jene Wissenschaftler und Industriellen, die sich in Deutschland mit dem Aufbau der friedlichen Kernenergie beschäftigten. Am 14. Januar 1967 erhielt der Präsident des Deutschen Atomforums, Karl Winnacker, Aufsichtsratsmitglied des Kernforschungszentrums Karlsruhe, die erste Nachricht über den Inhalt des sogenannten »Nonproliferationsvertrages«, über den seit Jahren die beiden Supermächte – die USA und die Sowjetunion – verhandelt hatten.

Man wußte aus allgemeinen Verlautbarungen, worum es den beiden Führungsmächten ging. Der atomare Rüstungswettlauf sollte gestoppt, weiteren Ländern der Eintritt in den Atomklub verwehrt werden. Da niemand in der Bundesrepublik Deutschland den Ehrgeiz besaß, Atomwaffen zu entwickeln, zu produzieren oder von dritten Nationen zu erwerben, waren die geheimnisvollen Genfer Gespräche ohne Beunruhigung verfolgt worden. Ein vernünftiger Ausgleich zwischen Ost und West – wer hätte ihn nicht begrüßt, zumal sich immer drohender die atomaren Ambitionen der Großmacht China im Hintergrund abzeichneten.

Der erste Entwurf des Atomsperrvertrages, so wie er nun stückweise bekannt wurde, offenbarte allerdings eine ganz andere Zielsetzung. Er war eine recht deprimierende Lektüre. Weit über einen normalen Abrüstungskonsens hinausgehend, machte der Vertrag den Versuch, die Welt aufs neue zu teilen: in kernwaffenbesitzende und kernwaffenlose Staaten. Den kernwaffenlosen »Habenichtsen« drohte offenbar in Zukunft eine ernsthafte Beeinträchtigung ihrer weiteren friedlichen Kernforschung und -entwicklung. Sie sollten sich einer strikten internationalen Kontrolle

unterziehen, während die Mächte, die schon Kernwaffen besaßen oder kurz vor ihrer Entwicklung standen, keiner derartigen Kontrolle unterliegen würden.

Auch wer nur die friedliche Seite der Kerntechnik im Auge hatte, mochte sich keine Kontrolleure wünschen. Plötzlich wurde den beteiligten Deutschen, die mit viel Begeisterung an der Nutzung der Kernenergie arbeiteten, bewußt, wie abhängig sie auf diesem Gebiet von den Fragen der hohen Politik waren. Unverhofft sahen sie ihre Bemühungen, die ja allein auf technische und wirtschaftliche Ziele gerichtet waren, durch die Weltpolitik eingeengt.

Gefördert durch die offenherzige internationale Zusammenarbeit, an der Deutschland schrittweise beteiligt worden war, hatte sich eine Aktivität entwickelt, die eben ihre ersten Erfolge zeitigte. Man hatte sich dabei wohl ein wenig darüber hinweggetäuscht, Verlierer des Krieges gewesen zu sein. Nun mußte man aus dem Text des beabsichtigten Vertrages lernen, daß die Folgen dieser Katastrophe – zumindest im nuklearen Bereich – wohl auf sehr lange Zeit nicht überwunden sein würden.

Adenauer befürchtet »Zweites Jalta«

Zu sehr schon hatte man sich daran gewöhnt, in einem weit verzweigten System multinationaler und bilateraler Verträge vielversprechende Arbeit zu leisten – wie es dem doch recht beachtlichen Niveau der deutschen wissenschaftlichen und technischen Fähigkeiten entspricht.

Jetzt, da das Vertragswerk vorlag, das die Bundesrepublik Deutschland eines Tages unterzeichnen sollte, wurde klar, daß sie politisch noch immer ein wenig unter Vormundschaft stand, so freundschaftlich und behutsam diese von der großen westlichen Führungsmacht auch ausgeübt werden mochte.

Auch in Bonn kam es bald zu heftiger Kritik. Tief enttäuscht über die amerikanische Haltung grollte Altbundeskanzler Konrad Adenauer, in Genf sei ein »zweites Jalta« vorbereitet worden, und das böse Wort von der amerikanisch-sowjetischen Atomkomplizenschaft machte die Runde. Bald standen sich Gegner und Befürworter des Atomsperrvertrages in Bonn erbittert gegenüber.

Im Januar 1967 war es freilich noch nicht soweit. Bundeskanzler Kurt Georg Kiesinger, Chef der Großen Koalition von CDU/CSU und SPD, und sein Kabinett waren über Hintergrund und Bedeutung des in Genf ausgehandelten Vertrags nur wenig informiert. Vor allem die Konsequenzen für die wissenschaftliche und technische Entwicklung der Kernenergie in Deutschland konnten zunächst nicht voll übersehen werden. Der Staatssekretär im Wissenschaftsministerium, Wolfgang Cartellieri, plädierte deshalb für die Konsultation durch Karl Wirtz vom Kernforschungszentrum Karlsruhe. Mitten in einer Vorlesung erreichte Wirtz die Nachricht, er möge sich am nächsten Tag in Bonn einfinden.

Nach einem kurzen Gespräch nahm Bundeskanzler Kiesinger den Karlsruher Professor mit in eine Sitzung des Verteidigungskabinetts, dem damals neben anderen Außenminister Willy Brandt, Franz Josef Strauß und Gerhard Stoltenberg angehörten. Auch General Ulrich de Maizière, der spätere Generalinspekteur der Bundeswehr, saß als Gast in der Runde.

Wirtz hielt einen knappen Vortrag von etwa zwanzig Minuten. »Ich fühlte mich dabei wenig wohl, denn ich hatte keine Gelegenheit gehabt, mich mit diesem ersten Entwurf des Atomsperrvertrages auch nur einigermaßen gründlich auseinanderzusetzen. Immerhin hatte ich am Vortag mit meinen beiden Kollegen Wolf Häfele und Otto Haxel noch kurze Gespräche führen und ein Rohkonzept meines Vortrages entwickeln können. In diesem Konzept war das Wesentliche, daß es keinen Zweck hat, Bombenfabriken zu kontrollieren. Entgegen der landläufigen Meinung bedurfte es damals nach dem Stand der Technik dazu keiner riesigen Anlagen mehr. Wenn man den Kernbrennstoff besaß, also Uran 235 oder Plutonium, genügten für den Zusammenbau kleine Fabriken, die sich überall versteckt unterbringen ließen. Das Wichtigste war demnach die Kontrolle des Kernbrennstoffes, dort wo er hergestellt und gelagert wird.«

Die Diskussion im Verteidigungskabinett war angesichts der mangelnden Vertrautheit mit dem Vertragswerk kurz. Lediglich Franz Josef Strauß und Willy Brandt stellten einige Fragen. Danach wurde beschlossen, einen Arbeitskreis aus Vertretern des Auswärtigen Amtes und einigen Kernwissenschaftlern, darunter

Wirtz, zu bilden. Den Vorsitz in diesem Kreis übernahm Botschafter Swidbert Schnippenkötter vom Auswärtigen Amt, der als deutscher Beobachter bei den weiteren Genfer Abrüstungsgesprächen fungieren sollte.

Auch in diesem »Schnippenkötter-Kreis«, der nun die einzelnen Paragraphen des Vertrages sorgfältig prüfte, wurde schnell klar, daß hier – falls der Vertrag verabschiedet werden sollte – zwei verschiedene Gruppen von Ländern gebildet würden: kernwaffenbesitzende und kernwaffenlose. Vergeblich versuchte Wirtz, Bundeskanzler Kiesinger zu bewegen, bei dem amerikanischen Bündnispartner gegen diese Zweiteilung anzugehen.

Wirtz: »Ich bin heute noch der Meinung, daß wir diese Trennungspläne aus dem Vertragswerk herausbekommen hätten, falls mit aller Härte verhandelt worden wäre.« Doch der verbindliche Kiesinger wollte keinen Ärger mit Washington. Vielleicht spielte auch eine Rücksichtnahme auf den Koalitionspartner, die SPD, mit, in deren Reihen der geplante Sperrvertrag mehr und mehr auf Sympathien stieß.

»Instrumentierte Spaltstoff-Fluß-Kontrolle«

Immerhin entschloß sich Kiesinger, Wirtz und einen Beamten nach Washington zu schicken, um dort der Deutschen Botschaft Hilfestellung für die ersten Gespräche mit den Amerikanern zu geben. Wertvoller Partner bei diesen Gesprächen war Berndt von Staden, der heutige Botschafter in den USA. In diesen drei Wochen in den USA entstand der später auch akzeptierte Gedanke, eine sogenannte instrumentierte Spaltstoff-Fluß-Kontrolle an strategischen Punkten als Kontrollprinzip in den Vertrag aufzunehmen.

Präsident Eisenhower hatte mit seiner großangelegten Rede im Jahre 1953 den historischen Erfolg gehabt, daß danach die internationale Zusammenarbeit im Bereich der friedlichen Nutzung der Kernenergie begann. Seine Initiative wird immer ein Markstein bleiben für die immense Entwicklung, die nun einsetzte und die weit über das eigentliche Thema hinaus ein Auftakt engerer Beziehungen in der Welt wurde.

Kein Erfolg jedoch war dem Vorstoß des Präsidenten in bezug auf eine nukleare Abrüstung oder zumindest auf eine Begrenzung der Aufrüstung beschieden. Die Sowjetunion verstärkte sogar noch ihre technischen Anstrengungen. Als es ihr im Oktober 1957 gelang, den »Sputnik« als ersten Satelliten in eine Erdumlaufbahn zu bringen, erlitten die USA einen heilsamen Schock. Die Sowjets hatten sich in das Raumzeitalter »hineingeschossen«. Erst vier Monate später folgten die USA mit dem Explorer I. Die Parität in der Eroberung des Weltraums war wiederhergestellt.

Der 20. November 1959 sah einen Antrag des irischen UN-Delegierten, Frank Aiken, über Maßnahmen gegen die Ausbreitung der Kernwaffen zur Abstimmung vor der Vollversammlung; bekanntlich enthielten sich die Sowjetunion und die elf Ostblockstaaten der Stimme.

Es hatten sich in der Welt zwei Machtblöcke gebildet. Der NATO, der 1955 auch Westdeutschland beigetreten war, stand der Ostblock mit dem Warschauer Pakt gegenüber. Der kalte Krieg, der am »Eisernen Vorhang« mit der Teilung Deutschlands seinen Anfang genommen hatte, spitzte sich zu. Die Sowjets demonstrierten ihre wachsende Atommacht und zündeten im Oktober 1961 die größte Atombombe, die je erprobt wurde. Aufklärungsflüge der USA über der UdSSR hatten den russischen Nationalstolz bis aufs Äußerste verletzt. Die Kubakrise des Jahres 1963 zeigte schließlich, wie nahe die Welt einer neuen Katastrophe gekommen war.

Gift aus der Atmosphäre

Die wachsende Zahl der Atombombenversuche forderte die Wachsamkeit der gesamten Weltöffentlichkeit bald in ganz anderer Weise heraus, als die Atommächte es sich vorgestellt hatten; die Wissenschaftler, die seit der Genfer Konferenz recht offen zusammenarbeiteten, führten ständig Messungen in der Erdatmosphäre durch und stellten fest, daß mit jeder Atombombenzündung die Radioaktivität dort oben zunahm. Besonders nach den Riesenbomben, die von den Sowjets gezündet wurden, beobachtete man Wolken von radioaktivem Staub, der aus Zerfallspro-

dukten der nuklearen Sprengstoffe stammte. Diese Produkte – langlebige Isotopen wie etwa Tritium oder C 14 – drohten die Erdatmosphäre auf lange Zeit zu vergiften. In den Vereinigten Staaten war diese Gefahr schon vorher erkannt worden. Man verlegte dort die Versuche in unterirdische Höhlen, so daß radioaktive Emissionen wenigstens nicht in die Erdatmosphäre gelangten. Es war mit Hilfe vervollkommneter Meßtechnik inzwischen übrigens möglich, rund um die Erde sowohl die Tatsache als auch die Größenordnung einer Sprengung zu ermitteln; es gab also doch endlich auch eine Kontrolle bzw. eine Registrierung.

Unter dem Druck der öffentlichen Meinung kam es auf Betreiben der drei großen Atommächte, nämlich der USA, der UdSSR und Großbritanniens, zu einem Vertrag, der am 25. Juli 1963 in Moskau unterzeichnet wurde. Man verpflichtete sich, Kernexplosionen von nun an weder in der Atmosphäre noch unter Wasser oder im Weltraum, sondern nur noch unter der Erde auszulösen. Nach und nach wurde dieser Vertrag von neunzig Staaten unterzeichnet, darunter auch von der Bundesrepublik Deutschland. Frankreich, China und Indien verweigerten ihre Unterschriften. Da diese drei Staaten dem Vertragswerk nicht beigetreten sind, verstoßen ihre Atombombenversuche zwar nicht gerade gegen den Vertrag, hinsichtlich des mit solchen Versuchen verbundenen Fall-outs jedoch zweifellos gegen allgemeine Regeln des Völkerrechts. Die Strahlenbelästigung wirkt sich ja nicht nur auf ihrem eigenen Territorium, sondern weltweit aus.

Das einzige, was inzwischen erreicht wurde, ist die Verpflichtung der Vereinigten Staaten und der Sowjetunion, keine Atombombenversuche in der Atmosphäre mehr vorzunehmen. Sie haben sich bisher auch strikt an dieses Abkommen gehalten. Die Bemühungen um ein generelles Verbot des Einsatzes von Atomwaffen freilich sind stets erfolglos geblieben. Zur Stunde zeichnet sich leider auch noch keine Lösung dieses Problems ab.

Gleichwohl war die Welt froh, einen ersten kleinen Erfolg zu sehen. Aber sie täuschte sich darüber hinweg, daß damit die ständige Drohung eines Atomkrieges nicht gebannt war. Nur sehr mühsam schlichen die eigentlichen Abrüstungsverhandlungen voran. Die Völker hatten sich gleichsam in die Situation eines atomaren Patts

der Großmächte hineingedacht. Die militärpolitischen Beurteiler der Weltlage verließen sich darauf, daß der Friede durch dieses Patt sicher sei. Sollte – so stellte man sich vor – eine der beiden Supermächte den ersten Schlag führen, dann würde die andere vielleicht auch noch zu einem Gegenschlag ausholen können. Dieser Gedanke war erschreckend genug. So kam es zu Mittel- und Langstreckenraketen, schließlich zu Antiraketensystemen und Raketen mit mehrfachen Sprengköpfen. Die Spirale dreht sich weiter . . .

Dies war die Zeit, da Weltpolitik zu einem Zwiegespräch der beiden Großen erstarrte. Der »heiße Draht« zwischen Moskau und Washington, nach der Kubakrise installiert, entschied über das Schicksal der Völker. Die logische Folge jener Theorie vom Patt war, daß die USA und die Sowjetunion darauf ausgingen, alle Entscheidungen zu zweit in der Hand zu behalten und jeden anderen von der Bestimmung über Wohl und Wehe der Menschheit auszuschließen.

Wie der Sperrvertrag entstand

Unter diesen neuen Gesichtspunkten begannen die Verhandlungen vor den UN mit dem Entwurf zu einem »Nonproliferations-Vertrag«, den die USA am 17. August 1965 einreichten. Sechs Wochen später kam ein Gegenvorschlag der Sowjetunion. Die beiden Supermächte mochten eingesehen haben, daß sie der technischen Entwicklung seit 1945 Rechnung tragen mußten.

Es gab mehr und mehr Industrieländer, die hinsichtlich der Verfügung über die Kernenergie so etwas wie »Schwellenmächte« waren: jene Nationen nämlich, die aufgrund ihres hohen technischen Potentials sehr wohl in der Lage sein würden, Atommächte zu werden, wenn sie wollten. Das waren vor allen Dingen Japan und die Bundesrepublik Deutschland. Es wurde deutlich, daß die Sowjetunion besonders die Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland mit großer Skepsis ansah. In Moskau bestand überdies wohl auch die Sorge, daß unter Führung der USA eine multinationale Atomstreitmacht zustande kommen könnte. Dem setzte sie den Gedanken einer atomwaffenfreien Zone in Mitteleuropa entgegen.

Mehr Schwierigkeiten als solche militärpolitischen Überlegungen, bei denen auf beiden Seiten die Interessen der jeweiligen Verbündeten kaum sehr hoch bewertet wurden, bereiteten die technischen Probleme. Angesichts der in aller Welt fortgeschrittenen Bemühungen, Kernenergie friedlich zu nutzen und auf diesem Weg eine völkerverbindende Zusammenarbeit zustande zu bringen, entstand eine Situation, in der für viele Nationen Kernbrennstoffe verfügbar wurden. Auf diese Weise konnten sie letzten Endes potentielle Atommächte werden, wenn sie nur wollten. Man mußte deshalb auf der ganzen Linie Kontrolle haben. Sollte diese Kontrolle aber von den Nichtatommächten anerkannt werden, dann mußte sie so eingerichtet sein, daß sie die friedliche Nutzung nicht behinderte. Sobald jedoch die Politiker, die über das Vertragswerk zu verhandeln hatten, technische Sachverständige hinzuzogen, erfuhren sie von den schweren Hürden, die auf diesem Gebiet jegliche Kontrolle zu nehmen haben würde.

Deutsche Interessen in Artikel 3

In diesem Stadium befanden sich die Verhandlungen, als das Deutsche Atomforum im Januar 1967 zum erstenmal davon hörte, daß nun präzise technische Einzelheiten zur Debatte standen. Kurz danach erschienen Auszüge aus dem mutmaßlichen Vertragstext in der Presse. Wenn im Rahmen des Atomforums die Arbeitsmöglichkeiten für die Nutzung der Kernenergie geschützt werden sollten, dann mußte man sich nun um vernünftige Lösungen im Atomsperrvertrag bemühen; zu verhindern war er ja keinesfalls.

Endlich aber hatte das Deutsche Atomforum die Möglichkeit, zu dem bekanntgewordenen Text des Vertragsentwurfes Stellung zu nehmen. Zu den militärpolitischen Problemen wollte es sich nicht äußern.

Mit einiger Verzögerung wurde schließlich auch der für Deutschland so wichtige Artikel 3 des Vertragsentwurfes veröffentlicht, der sich allerdings, ebenso wie der übrige Text, in der endgültigen Fassung noch wesentlich geändert hat:

»Jeder kernwaffenlose Staat, der diesem Vertrag beitritt, verpflichtet sich, die Sicherheitsmaßregeln der internationalen Atom-

energiekommission für alle seine auf friedliche Zwecke gerichteten nuklearen Tätigkeiten anzunehmen, sobald dies durchführbar ist. Jeder Unterzeichnerstaat verpflichtet sich, Ausgangsmaterial, besonders spaltbares Material, Spezialausrüstungen oder nichtnukleares Material zur Verarbeitung oder Verwendung für friedliche Zwecke an einen anderen kernwaffenlosen Staat nur dann zu liefern, wenn das Material oder die Ausrüstung den vorgenannten Sicherheitsmaßregeln unterworfen werden.«

Zunächst ergab sich die Frage, wie solche Sicherheitsmaßregeln, wie die dafür notwendigen Kontrollen überhaupt aussehen könnten. Kernstück würde dabei doch wohl die Ermittlung spaltbaren Materials zu jeglichem Zeitpunkt und die fortlaufende Beobachtung einer etwaigen Verarbeitung sein müssen. Nur so könnte die Herstellung von Atomwaffen rechtzeitig entdeckt und gegebenenfalls verhindert werden.

Problematik mit der Kontrolle

Bei Kernreaktoren läßt sich der Transport von Brennelementen, vor allem bei Zu- und Abfahrt, ohne großen Aufwand kontrollieren. Anders sieht es an anderen Stellen des Brennstoffkreislaufs aus, einschließlich der Urananreicherung. Hier werden größere Mengen an Uran 235 oder Plutonium bewegt und verarbeitet. Zwar können sie aufgrund ihrer Strahlung leicht qualitativ ermittelt werden, ein quantitatives Verfahren zur Kontrolle dieses »Flusses« von Kernbrennstoffen bestand jedoch anfänglich noch nicht. Es wurde später im Zuge des Projekts »Spaltstoff-Fluß-Kontrolle« entwickelt.

Plutonium ist ein unentbehrlicher Spaltstoff, der in Leichtwasserreaktoren zwangsläufig entsteht, in Wiederaufarbeitungsanlagen isoliert werden muß und über die Brennelementeherstellung in die Reaktoren der Zukunft, z.B. in die Schnellen Brüter, zurückkehrt. Ein wertvolles und nicht vermeidbares Zerfallsprodukt also, das einmal in großen Mengen anfallen wird.

Hoechst hatte seinerzeit an der Wiederaufarbeitung der ausgebrannten Brennstoffe und an der Verwendung der Isotopen besonderes Interesse. Darum besuchten Karl Winnacker und Leo-

pold Küchler im Oktober 1967 eine kommerzielle betriebene Wiederaufarbeitungsanlage der Nuclear Fuel Services Inc. in West Valley, N. Y., in den USA. Sie erfuhren bei dieser Gelegenheit, daß dort kurz vorher auf Veranlassung der UN probeweise eine Kontrolle veranstaltet worden war. Es hatte sich ergeben, daß daran nicht weniger als zehn hauptamtliche Kontrolleure aus neun verschiedenen Ländern beteiligt waren.

In solch einem personellen Aufwand aber lag für alle jene, die als Vertragspartner keine Kernwaffen herstellen wollten, das Problem: man würde Hunderte hauptamtlicher Kontrolleure benötigen, die noch dazu aus der Reihe der Vertragsstaaten kommen mußten, wenn man die Gefühle dieser Länder nicht allzu sehr kränken wollte. Eine solche »Kontrollarmee« unter der Führung der UN bzw. der Atombehörde in Wien aufzubauen, war schon wegen der hohen Kosten unmöglich. Auch würden auf diesem Weg der Werkspionage Tür und Tor geöffnet werden.

In Karlsruhe hatte Wirtz schon früh eine instrumentierte Spaltstoff-Fluß-Kontrolle konzipiert, die später von Häfele ausgebaut wurde. Sie konnte durch Messungen kontinuierlich die Materialbewegung der Spaltstoffe anzeigen. Diese Arbeiten wurden nun interessant. Sie führten in den Jahren 1967 bis 1974 zu einer anwendbaren Lösung. Es war für Deutschland von großer Bedeutung, daß es zur Bewältigung dieses grundsätzlichen Problems einen bedeutenden Beitrag leisten konnte. Die Bundesrepublik Deutschland hat so den Kontakt zur Wiener Behörde, der IAEO, zu der sie als Nichtmitglied der UN wenig Beziehungen hatte, verbessert. Bisher war die Bundesrepublik Deutschland ja nicht einmal im Rat der Gouverneure vertreten, obwohl man sonst ihren Arbeiten viel Gewicht zumaß.

Der Wunsch nach Unabhängigkeit

Die große wirtschaftliche Bedeutung, die Deutschland – fern von allem militärischen Interesse – der Kernenergie zuschrieb, verlangte, daß dieses Arbeitsgebiet im Rahmen einer freiheitlichen Wirtschaft weiterentwickelt werden konnte. Es gab gerade zu dieser Zeit genaue Vorstellungen von der Zukunft der Kernenergie;

sie waren soeben im Dritten Deutschen Atomprogramm niedergelegt worden.

Die Bundesrepublik Deutschland konnte nun 600-Megawatt-Kraftwerke wirtschaftlich errichten und verfügte überdies über ziemlich genaue Pläne für weiter fortgeschrittene Reaktoren sowie für die Sicherung der Uranbeschaffung und den Brennstoffkreislauf. In naher Zukunft blieb sie bezüglich der Urananreicherung freilich auf die USA angewiesen, wollte aber die Bindung an diese Lieferungen nicht als endgültig ansehen, sondern nach und nach in der Uranversorgung, in der Anreicherung wie im Brennstoffkreislauf selbständig werden. Sie beabsichtigte, im Hinblick auf Eigenausstattung und Export kerntechnischer Anlagen unabhängig zu werden.

Die USA hatten 1966 mit der Schweiz ein sehr weitgehendes Abkommen geschlossen, das dieser zwar ihre Versorgung sicherte, eine eigene Entwicklung aber abschnitt; ähnliche Abkommen waren mit Japan, Schweden, Israel und Spanien vorgesehen. Rein privatwirtschaftlich waren die USA sehr daran interessiert, auch mit der Bundesrepublik Deutschland ähnliche Verträge zu schließen. Derartige »Heiratsanträge« abzulehnen, war angesichts der freundschaftlichen Beziehungen und der Abhängigkeit von kerntechnischen Lieferungen nicht einfach. Es gab einflußreiche Kreise in Deutschland, denen dieser Wunsch nach Selbständigkeit zu kostspielig schien. Auch gab es nach wie vor Gruppen, die jene Bemühungen um die Kernenergie nicht gerne sahen.

Bisher war die Überwachung der kerntechnischen Anlagen hierzulande durch den Euratomvertrag geregelt; das hatten auch die Vereinigten Staaten anerkannt. Deutschland war für den Euratomgedanken zu großen Opfern bereit gewesen. Die Ausgaben für die Euratom-Behörde und ihre Unternehmungen waren hoch und wurden, seit Frankreich 1962 unter General de Gaulle seine eigene Atommacht aufzubauen begann, nicht mehr sehr fruchtbringend eingesetzt. Wissenschaftlich-technisch gesehen war Euratom mehr und mehr zu einer mühsam aufrechterhaltenen Prestigeangelegenheit geworden. Um so wertvoller aber war die europäische Zusammenarbeit insgesamt. Die mußte jeder anstreben, wer weiter an die Zukunft Europas glauben wollte.

Keine Trennung von Euratom

Trotz mancher Rückschläge glaubte man in der Bundesrepublik Deutschland an die Europäische Gemeinschaft. So war man auch entschlossen, sich in der Angelegenheit »Nonproliferation« nicht von Euratom trennen zu lassen, auch wenn Frankreich – und später Großbritannien – als Atommächte innerhalb dieser Gemeinschaft andere und größere Sonderrechte haben würden. Deshalb mußte die Kontrollbefugnis für Deutschland, die unter Oberaufsicht der Wiener Behörde liegen sollte, bei der Euratomorganisation bleiben. Auf diesen vereinfachten Nenner waren also die deutschen Interessen zu bringen, wenn die Einwände Erfolg haben sollten. Alle übrigen Schönheitsfehler des Vertragsentwurfs traten demgegenüber in den Hintergrund.

Zu solchen Schönheitsfehlern gehörte auch, daß der Vertrag den kernwaffenlosen Staaten Besitz und Herstellung von nuklearen Sprengkörpern für friedliche Zwecke verbot. Gerade damals hatten sich die Industriestaaten von dieser Anwendung allenthalben viel versprochen. Gelegentlich der Atomkonferenz von 1971 in Genf z. B. zeigten die Amerikaner das Modell eines neuen Kanals, den sie parallel zum Panamakanal bauen und bei dem sie nukleare Sprengsätze verwenden wollten. Derlei interessante Möglichkeiten aber sollten allein den Atommächten vorbehalten bleiben.

Deutscherseits wurde auf eine Lockerung des Vertrages in diesem Punkt nicht allzuviel Wert gelegt; es gab größere Sorgen. Immerhin konnten nukleare Sprengkörper für den Aufschluß von Bodenschätzen, für große Wasserbauten und ähnliches Bedeutung haben, wenn es gelänge, die Atomexplosionen sauber, d. h. ohne Erzeugung gefährlichen radioaktiven Staubes, zu halten. In solchen Fällen würde man die kernwaffenlosen Staaten wohl nicht davon ausschließen können. Die Diplomaten auf der Genfer Atomkonferenz hatten eine ganze Zeitlang bei ihren Verhandlungen vergessen, daß das Dynamit von Alfred Nobel für den Bau von Tunnels und anderen friedlichen Anlagen viel größere Bedeutung erlangt hat als für den militärischen Einsatz.

Deutschland hatte in diesem Stadium der Verhandlungen sehr wenige Möglichkeiten der Mitwirkung. Es war ja nicht Mitglied

der UN, erst recht nicht der Sieben-Mächte-Abrüstungskonferenz. Als diese am 21. Februar 1967 in Genf begann, war Deutschland lediglich durch Botschafter Schnippenkötter repräsentiert.

Schnippenkötter vertrat in erster Linie die Interessen des Auswärtigen Amtes. Gesprächspartner der Wissenschaft und Industrie war hauptsächlich Bundesminister Gerhard Stoltenberg, der auf das Urteil der Wissenschaftler, Industriellen und Politiker des Atomforums immer großen Wert legte. Auf seinen dringenden Wunsch gab das Atomforum am 27. Februar 1967 eine erste Stellungnahme ab. Sie enthielt die wesentlichen Bedenken, soweit man sie anhand eines noch nicht authentischen Vertragsentwurfes fixieren konnte.

Der Vertragsentwurf hatte in der deutschen Presse ein gutes Echo gefunden, weil er die Entspannungstendenzen wesentlich zu fördern schien. Überdies wurden die ersten Ansätze der späteren Ostpolitik Brandts und Scheels erkennbar. Hatte es unter diesen Umständen überhaupt Sinn, Bedenken oder gar ein Nein zu dem Vertragswerk zu formulieren? Gleichwohl wurden die Vor- und Nachteile des Vertrages gründlich diskutiert. Dabei stellte sich sehr schnell heraus, daß sich Deutschland auch noch in anderer Hinsicht in einer Zwangslage befand. Das galt im übrigen auch für alle anderen Staaten, die keine eigenen Urananreicherungsanlagen besitzen.

Mit wenigen Ausnahmen sind die deutschen Reaktoren für die Verwendung von angereichertem Uran ausgelegt. Dieses Material – daran hat sich bis heute nichts geändert – konnte aus den Vereinigten Staaten bezogen werden. Nur durch den Beitritt zum Sperrvertrag konnte die Versorgung mit angereichertem Uran durch die Amerikaner gesichert werden. Erst in Zukunft wird eine Belieferung aus Großbritannien sowie der UdSSR möglich sein.

Eine Eigenversorgung der Bundesrepublik war fürs erste nicht realisierbar, selbst wenn der Bau von Schnellen Brütern und die Gewinnung von Plutonium durch Aufbereitung der Brennelemente verwirklicht gewesen wäre. Eine strikte Ablehnung mußte ein Zerwürfnis mit den USA und einen Zeitverlust von mindestens zehn Jahren bedeuten.

Die Auswirkungen auf den deutschen Export von Kernkraftwerken konnten kaum abgeschätzt werden. So war die deutsche Entscheidungsfreiheit im Hinblick auf die Vertragsverhandlungen von vornherein sehr eingeschränkt. Im Grunde verengte sich der Spielraum für die Verhandlungsbemühungen auf einen einzigen Punkt: Es galt den Partner USA davon zu überzeugen, daß eine Lösung gefunden werden mußte, die den atomwaffenlosen Staaten eine friedliche Verwendung der Kernenergie nicht unmöglich machen würde.

Das bedeutete in der Praxis, daß Deutschland sein uneingeschränktes Ja zur Nichtverbreitung von Atomwaffen mit Bedingungen verknüpfen mußte, die ihm den notwendigen Spielraum beim Bau von Kernreaktoren und sonstigen atomtechnischen Anlagen sowie bei der Versorgung mit Brennstoffen, vor allem angereichertem Uran und Plutonium, sicherten. Dies dürfte, soweit man es heute übersehen kann, auch gelungen sein. Der Weg dorthin sollte sich jedoch als äußerst schwierig erweisen. Die unterschiedlichen politischen Auffassungen und der Regierungswechsel in Deutschland, der zum ersten Mal ein Kabinett aus SPD und FDP brachte, erleichterten die Situation nicht.

Das ganze Jahr 1967 über wurde der Vertrag in allen Teilen der Welt diskutiert. Für die endgültige Formulierung war das zweifellos sehr nützlich. Schon im Mai 1968 gab es einen neuen Entwurf, der von den USA und der UdSSR vorgelegt wurde. Nach einigen Änderungen stimmte die UN-Vollversammlung am 12. Juni 1968 diesem Vertrag zu. Die Mehrheit von achtundvierzig Stimmen war freilich nicht überwältigend. Vier Staaten stimmten mit nein, einundzwanzig enthielten sich der Stimme, zwei waren abwesend und zwei wegen Zahlungsverzug nicht stimmberechtigt.

Nun mußten sich die einzelnen Staaten, auch wenn sie – wie z. B. Deutschland – an der Resolution gar nicht mitgewirkt hatten, entscheiden, ob sie unterzeichnen und ratifizieren wollten.

Eine Woche danach, in der Sitzung der Atomkommission vom 25. Juni 1968, berichteten Bundesminister Stoltenberg und Botschafter Schnippenkötter über den neuen und endgültigen Ent-

wurf. Viele Bedenken waren zwar zerstreut, aber gerade im Hinblick auf die industriellen Interessen der Bundesrepublik blieb noch manches zu klären.

Weitgehend verbessertes Vertragsklima

In der Präambel und in Artikeln des Vertrages war jetzt ausdrücklich das Recht zur Nutzung der Kernenergie verankert. Die Kontrolle nach Artikel III umfaßte nicht mehr die Kernanlagen an sich, sondern nur noch den Spaltstoff-Fluß. Es wurde in Aussicht genommen, für diese Kontrolle, wenn irgend möglich, instrumentierte Verfahren anzuwenden. Gemäß der Neufassung des Artikels III konnte Euratom an die Stelle der IAEO-Kontrolle treten, wenn darüber in einem besonderen Abkommen der beiden Institutionen Einvernehmen erzielt würde.

Schließlich waren die Vereinigten Staaten und Großbritannien bereit, sich in einer zusätzlichen Erklärung zu verpflichten, ihre Kernenergieanlagen für friedliche Zwecke einer gleichen Kontrolle zu unterwerfen.

Bundesregierung und Atomforum waren darin einig, daß alles Wesentliche erreicht sei, wenn die noch offenen Punkte wirklich geregelt würden. Weitergehende Änderungen konnte Deutschland ohnehin nicht mehr durchsetzen. Fraglich war nur, ob deutscherseits der Vertrag sofort unterschrieben werden sollte, oder erst, nachdem diesen Bedingungen Rechnung getragen sein würde. Dies war auch Gegenstand der öffentlichen Diskussion, in der im übrigen anerkannt wurde, daß die Stellungnahme des Atomforums die sachlichen Grundlagen für eine solche Entscheidung klar und objektiv herausgestellt hatte.

Im übrigen blieb nicht viel Zeit für eine Auseinandersetzung über die noch offenen Fragen. Am 15. August 1968 erreichte alle Mitglieder des Präsidiums des Atomforums ein dringendes Fernschreiben von Bundeswirtschaftsminister Karl Schiller. Darin wurde mitgeteilt, daß in vierzehn Tagen in Genf die von den Vereinten Nationen einberufene Konferenz der Nichtkernwaffenstaaten beginnen sollte. Die Bundesrepublik Deutschland war dazu eingeladen. In Genf sollte eine grundsätzliche Entscheidung

darüber fallen, ob nun die »Habenichtse« unterschreiben würden.

Der Minister bat das Präsidium zu einer Besprechung der wirtschaftlichen Probleme des Sperrvertrages nach Bonn. Diese Einladung kam so kurzfristig, daß Minister Stoltenberg, der gerade in Urlaub war, nicht kommen konnte. Im übrigen ging die Einladung auf einen Wunsch von Außenminister Brandt zurück, der sich für seine Verhandlungen in Genf auch die Zustimmung der deutschen Wirtschaft sichern wollte. Da die SPD stärker als die übrigen Parteien zu einer baldigen Unterschrift des Atomsperrvertrages neigte, war anzunehmen, daß in dem Gespräch bei Minister Schiller die Bedenken der deutschen Wirtschaft gegen einzelne Passagen des Sperrvertrages ausgeräumt oder zumindest reduziert werden sollten.

Das Treffen beim Wirtschaftsminister kam wegen der außenpolitischen Entwicklung dann doch nicht zustande: Die Staaten des Warschauer Paktes waren gerade, im August 1968, in die ČSSR einmarschiert. Es spricht vieles für die Annahme, daß mittlerweile sowohl Außenminister Brandt als auch Wirtschaftsminister Schiller die vom Atomforum zu dem Vertrag dargelegten Bedenken nun doch für gravierender hielten als vordem.

Neue Auffassungen im Vordergrund

Mit Beginn der großen Bonner Koalition im Jahre 1967 wurde es schwieriger, die notwendigen Kontakte zwischen Wirtschaft und Bundesregierung zu finden. Dabei mögen parteipolitische Aspekte mitgespielt haben, wahrscheinlich aber auch eine grundlegende Änderung der Auffassung in Fragen der Zusammenarbeit mit der Wirtschaft. Zudem schwächte der Wechsel in der Regierung die früher bestehenden persönlichen Verbindungen insbesondere zum Wissenschaftsministerium. Man gewann plötzlich das Gefühl, daß anstelle der über viele Jahre geübten Kooperation bei einigen Ministerien jetzt der Einfluß der Administration stärker werden sollte.

Damals vollzogen sich auch starke personelle Veränderungen in den Ministerien, die mit einer erheblichen Personalvermehrung

verbunden waren. Junge, in die Ministerien drängende Fachleute neigten verständlicherweise dazu, auch in wirtschaftlich-technischen Zusammenhängen ihre eigenen Vorstellungen durchzusetzen. Die vorangegangene Periode war zweifellos durch stärkere Bereitschaft zur Abstimmung mit den Repräsentanten der Industrie gekennzeichnet. Auch die Auffassungen in Grundsatzfragen hatten bis dahin stärker miteinander harmonisiert.

Die Einladung von Minister Schiller hatte immerhin zur Folge, daß das Atomforum sich erneut Rechenschaft über die inzwischen weiter vorangeschrittene Entwicklung um den Atomsperrvertrag geben mußte. Es wurden neue Papiere ausgearbeitet, die für die Übergabe an Schiller gedacht waren. Sie enthielten in knapper Form die noch bestehenden Einwände gegen das Vertragswerk, die sich ihrem Gehalt nach jedoch nicht wesentlich verändert hatten.

Die wesentliche Feststellung lautete: »Die Forderung nach einer Lösung des Kontrollproblems in einer Weise, die die Gleichbehandlung der Wissenschaft und Technik auf der ganzen Welt sicherstellt, ist nach wie vor nicht erfüllt.« Weiterhin wurde es als unerläßlich betrachtet, daß die Sicherheitsüberwachung durch Euratom beibehalten werden müsse.

Auch die Bemühungen innerhalb von Euratom, eine Aufspaltung der Europäischen Gemeinschaft durch den Sperrvertrag zu vermeiden, wurden fortgesetzt. Frankreich hielt sich in dieser Diskussion sehr zurück, da es sich von diesem Vertrag, den es ja weder unterzeichnen noch ratifizieren wollte, nicht betroffen fühlte. Zweifellos hat die Außenseiterstellung Frankreichs die gesamte Diskussion äußerst erschwert. Ob diese Haltung rein taktisch war, oder ob man damals in Frankreich weitergehende politische Ziele verfolgte, ließ sich nicht erkennen. Auch hier wurde die nationalstaatliche Auffassung der Franzosen von einem vereinten Europa deutlich. Die Kooperation zwischen den übrigen damaligen fünf Mitgliedstaaten der europäischen Atomgemeinschaft funktionierte dagegen recht gut.

Die ursprünglich grundsätzliche Frage, ob ein Beitritt der Euratommitgliedstaaten zum Vertrag rechtlich überhaupt zulässig sei, wurde zunächst kritisch behandelt, schließlich aber bejaht. Eu-

ratom richtete seine Aufmerksamkeit jetzt überdies mehr und mehr auf die Frage des Kontrollverfahrens. Es galt, Klarheit darüber zu gewinnen, wie die verschiedenen inzwischen bestehenden und durchaus funktionierenden Kontrollorgane im Verhältnis zu den Vertragsregeln zu beurteilen seien.

Als 1969 Willy Brandt Bundeskanzler wurde, sollte im Rahmen der beabsichtigten Verständigung mit dem Osten sehr schnell auch die Unterzeichnung spruchreif werden.

Die Zeit drängt zur Unterschrift

Nicht minder wuchs das Interesse der Parteien im Bundestag, da das Inkrafttreten des Sperrvertrages wegen Unterzeichnung durch die dafür erforderliche Zahl von Staaten näher rückte. Am 7. November 1971 beantwortete Bundeskanzler Willy Brandt eine große Anfrage der CDU/CSU-Fraktion und brachte dabei zum Ausdruck, daß die vom Atomforum geforderten Bedingungen vor dem endgültigen Beitritt der Bundesrepublik befriedigend erfüllt sein müßten. Er wies ausdrücklich auf die Erklärung des Atomforums hin: »Die Stellungnahme des Atomforums deckt sich mit der Beurteilung der in ihr behandelten Fragen durch die Bundesregierung. Um die angegebenen Probleme mit dem Ziel ihrer Lösung entsprechend den jeweils gegebenen Möglichkeiten zu verringern, ergreift die Bundesregierung konsequent alle hierzu notwendigen Maßnahmen.«

Die Bundesregierung vertrat die Auffassung, daß eine Unterzeichnung des Vertragswerkes die Aussichten für eine befriedigende Antwort auf die noch offenen Fragen eher verbessern würde. Im Einvernehmen mit den übrigen Euratommitgliedern wollte man dagegen die Ratifizierung aufschieben, um die gemeinsamen Vorstellungen durchzusetzen.

Noch ehe die Bundesregierung diese Stellungnahme abgab, hatte am 3. November 1969 der Bundesminister für Bildung und Wissenschaft, Hans Leussink, an Winnacker als Präsidenten des Deutschen Atomforums die Bitte gerichtet, vor der Bundestagsdebatte über die wissenschaftliche und wirtschaftliche Seite dieses Komplexes unterrichtet zu werden, und zwar unter Hinzuziehung

von einigen Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft. Schon am darauffolgenden Samstag fand ein gemeinsames Gespräch statt. Neben Minister Leussink und Winnacker nahmen Friedrich Hämmerling von der AEG, Heinz Goeschel von Siemens, Felix Prentzel von der Degussa, Heinrich Mandel vom RWE, Josef Wengler, Vorsitzender der Reaktorsicherheitskommission, Wolf Häfele aus Karlsruhe; Adalbert Schlitt, Geschäftsführer des Deutschen Atomforums, Klaus Trouet von Hoechst, Ministerialdirektor Joachim Pretsch und Ministerialrat Willi Blatzheim vom Ministerium für Bildung und Wissenschaft teil.

Zu Beginn war eine gewisse Gereiztheit zu spüren, die durch das ungeduldige Auftreten des Ministers verursacht worden sein mag. Wegen der Abneigung gegen das Beratungswesen war die Stimmung sowieso nicht gut. Er forderte die Anwesenden dazu auf, ihre Auffassung zum NV-Vertrag »unter Berücksichtigung der Entwicklung darzulegen«. Im einzelnen wurden daraufhin jene Bedenken, die das Atomforum in seiner letzten Erklärung niedergelegt hatte, noch einmal durchgesprochen. Winnacker wies darauf hin, es seien keine Gründe bekannt, die eine Modifizierung dieser Auffassung veranlassen würden. Weiterhin erklärte er mit Nachdruck, das Atomforum habe zu der Frage, ob die notwendigen Klärungen vor oder nach Unterschrift herbeigeführt werden müßten, keine Stellung nehmen können, weil es sich hierbei um eine politische Frage handele. Wesentlich sei nur, daß den bestehenden Bedenken vor Inkrafttreten des Vertrages für die Bundesrepublik Rechnung getragen werde.

In der Bundestagssitzung vom 12. November 1969 machte Minister Leussink vom Inhalt des Gespräches Gebrauch. Seine sachlich gehaltenen Ausführungen machten deutlich, daß er ebenso wie die Bundesregierung den Bedenken von Wissenschaft und Wirtschaft in Zusammenhang mit der Unterzeichnung des Vertrages durch entsprechende Erklärungen das notwendige Gewicht verleihen wollte. Er betonte jedoch auch, daß die Vorteile eines Beitritts zum Vertrag dessen Nachteile überwiegen würden.

Meinungen im Parlament

Die CDU/CSU-Opposition hat in der Debatte neben den Bedenken wissenschaftlich-technischer Art auch die politischen Einwände wieder in den Vordergrund gerückt, besonders die Sicherheitsfragen. Von mehreren Abgeordneten wurde eine Verbesserung der Sicherheitsgarantie durch die Großmächte, speziell durch die Vereinigten Staaten, gefordert; auch müsse ein künftiger staatsrechtlicher Zusammenschluß der EG-Staaten die atomare Bewaffnung zulassen. In einer viel beachteten Rede hat damals der Fraktionsführer der CDU/CSU, Rainer Barzel, die Fragen einer eindeutigen Auslegbarkeit des Werkes in den Vordergrund seiner Überlegungen gestellt. Er wehrte sich dagegen, daß die realen Wirkungen der Politik den Primat des Rechtes in unserem Lande überspielen sollten, und verlangte eine gründlichere Erörterung aller mit dem Vertragswerk zusammenhängenden Punkte nicht nur im Plenum, sondern vor allem auch in den Bundestagsausschüssen. An Bundeskanzler Brandt richtete er die Warnung, sich nicht durch eine übereilte Unterschrift in Zugzwang setzen zu lassen.

Der Bundestag hat sich dann mit ganz geringer Mehrheit für die Unterzeichnung entschieden. Es war bedauerlich, daß man für die Entscheidung über eine so lebenswichtige Frage nicht durch vernünftige Einigung eine größere Mehrheit hat erreichen können. Aber gerade in dieser Zeit waren die Gegensätze im Bundestag besonders ausgeprägt.

Am Freitag, dem 28. November 1969, hat die Bundesregierung den Vertrag über die Nichtverbreitung von Kernwaffen unterzeichnet. Sie tat dies jedoch nicht ohne Vorbehalte. Sie gab eine Erklärung über die Vorstellungen ab, die man in Deutschland mit dem Beitritt zu dem Vertragswerk verband. Diese Erklärung enthielt die Vorbehalte, die das Deutsche Atomforum in seinen Stellungnahmen erarbeitet hatte, vor allem die Bedingung, daß die Zusammenarbeit zwischen Euratom und IAEO im Rahmen des Kontrollverfahrens zustande kommen müsse. Am selben Tag übermittelte die Bundesregierung an die Regierungen aller Staaten, mit denen diplomatische Beziehungen unterhalten wurden,

eine Note, in der gleichfalls die schon genannten Vorbehalte niedergelegt waren. Darüber hinaus war dafür gesorgt worden, daß zur gleichen Zeit die Vereinigten Staaten, Großbritannien und Frankreich Erklärungen mit einem mehr außenpolitischen Gewicht herausgaben, welche die Aufrechterhaltung des NATO-Bündnisses und die Sicherheitsgarantien betrafen.

Am kürzesten äußerte sich der Sprecher des Quai d'Orsay: »Wir schließen uns keiner Interpretation der Artikel 53 und 107 der Charta der Vereinten Nationen an, der zufolge diese Artikel bestimmten Ländern das Recht zu einseitiger gewaltsamer Intervention in der Bundesrepublik Deutschland verleihen würden.« Diese Aussage kam dem deutschen Wunsch entgegen, daß ein bei Kriegsende in die UN-Charta aufgenommenes Interventionsrecht gegen das ehemalige Deutsche Reich nun endgültig sein Ende finden müsse. Die Westmächte hatten hierauf lange vorher verzichtet, nicht jedoch die Sowjetunion.

Der Vertrag wird Wirklichkeit

Ein weiteres wichtiges Datum in der Geschichte des Sperrvertrages war der 4. März 1970. An diesem Tag trat das Vertragswerk mit der Hinterlegung der Urkunden durch die Sowjetunion und die Vereinigten Staaten in Kraft. Bei einem Festakt in Moskau, an dem neben Ministerpräsident Aleksej N. Kossygin, Außenminister Andrej A. Gromyko und Verteidigungsminister Andrej A. Gretschko unter den zahlreichen ausländischen Diplomaten auch der deutsche Botschafter Helmut Allardt teilnahm, wurde bekanntgegeben, daß bisher 95 Staaten, darunter die Bundesrepublik Deutschland, das Abkommen unterschrieben hätten. 50 Länder hatten den Vertrag inzwischen ratifiziert, und 45 hatten die Urkunden ratifiziert und hinterlegt.

Der Vertrag trat selbstverständlich nur für solche Länder in Kraft, die diese Hinterlegung vollzogen hatten, also nicht für Deutschland, bei dem sowohl die Ratifizierung als auch die Hinterlegung noch ausstanden. Am Rande des Festaktes wurde vermerkt, daß China als fünfte Atommacht von diesem Vorgang überhaupt keine Notiz nahm; es bekämpfte das Abkommen von

Anfang an als einen angeblichen Versuch der USA und der Sowjetunion, ihre nukleare Vorherrschaft in der ganzen Welt zu verewigen. Hingegen hatte Japan am 3. Februar 1970 den Vertrag ebenfalls unterzeichnet.

Über den Text des Verifikationsabkommens, durch das die Euratomkontrolle anerkannt werden sollte, wurden seit November 1971 umfangreiche Verhandlungen zwischen der IAEO und Euratom geführt. Unmittelbar beteiligt waren die fünf Nichtkernwaffenstaaten, während Frankreich und Großbritannien ständig unterrichtet wurden. Weitere drei Staaten, nämlich Dänemark, Irland und Norwegen, die in Beitrittsverhandlungen mit der Gemeinschaft standen, hatten Beobachter entsandt. Am 5. April 1973 unterzeichneten in Brüssel die Vertreter der nun auf sieben angewachsenen Nichtkernwaffenstaaten der Gemeinschaft und der Kommission auf der einen sowie der Generaldirektor der IAEO auf der anderen Seite das Verifikationsabkommen. Das entsprach dem deutschen Wunsch, sich von der Euratomgemeinschaft nicht trennen zu lassen.

Am 10. September 1973 legte die Bundesregierung sowohl den Sperrvertrag als auch das Verifikationsabkommen dem Deutschen Bundestag zur Ratifizierung vor. Inzwischen war die Verantwortung für das mittlerweile umbenannte Bundesministerum für Forschung und Technologie, das für Fragen der Kernenergie zuständig war, Bundesminister Horst Ehmke übertragen worden. Ihm gab Winnacker mit Brief vom 3. Oktober 1973 die grundsätzliche Zustimmung des Atomforums bekannt. Er wies jedoch auf die Notwendigkeit hin, daß eine Voraussetzung für eine wettbewerbsneutrale Wirkung der Überwachung ihre gleichmäßige Anwendung auf alle Industrienationen, insbesondere auch auf die Vereinigten Staaten, sein müsse. Die USA waren auch willens, ihre friedlichen Zwecke dienenden kerntechnischen Anlagen der Kontrolle des Sperrvertrages zu unterwerfen.

Am 8. November 1973 fand im deutschen Bundestag die erste Lesung zur Ratifizierung des Atomsperrvertrages und des Verifikationsabkommens statt. Entsprechend dem Vorschlag des Ältestenrates, wurde das Vertragswerk anschließend zur Beratung an den Auswärtigen Ausschuß und den Ausschuß für Forschung und

Technologie und für das Post- und Fernmeldewesen sowie den Haushaltsausschuß überwiesen. Die CDU/CSU-Fraktion war in ihren internen Diskussionen schon einen Monat vorher zu der Auffassung gelangt, daß die Bundesrepublik Deutschland bei Nichtratifizierung in eine außerordentlich schwierige Lage käme. Da die CDU/CSU-Fraktion im Bundesrat die Mehrheit der Stimmen besaß, hätte sie das Verifikationsabkommen, nicht aber den Sperrvertrag selbst, blockieren können. Das Ergebnis der Oppositions-Überlegungen wurde unter Federführung des Abgeordneten Kurt Birrenbach zusammengefaßt. Er stellte fest, daß für eine Ablehnung des Verifikationsabkommens aus Versorgungs- und Euratom-politischen Gründen für die CDU/CSU weder ein Interesse noch ein Anlaß bestehe. Birrenbach hatte mehrere Male die Meinung des Atomforums eingeholt.

Hürden wurden genommen

Der Deutsche Bundestag hat dann am 20. Februar 1974 mit großer Mehrheit die Ratifizierung des Atomsperrvertrages und des Verifikationsabkommens beschlossen. Von einigen anderen Nationen, die unterschrieben haben, steht die Ratifizierung noch heute aus. Z. B. hatte Japan bei der Unterschrift zur Bedingung gemacht, daß auch dort für die Ausführung der Kontrolle eine regionale Lösung ähnlich wie bei Euratom vereinbart werden müsse. Eine solche Regelung scheint bis jetzt nicht gefunden zu sein. Italien hat das Vertragswerk erst im Frühjahr 1975 ratifiziert. Im April 1975 ist der Vertrag von den Euratomländern, ohne Frankreich und England, hinterlegt und damit wirksam geworden.

Am 8. März 1974 hat schließlich auch der Bundesrat seine Zustimmung zu dem Verifikationsabkommen gegeben. Damit liegen die Zustimmungen des Parlaments vor, so daß die Ratifizierung der Verträge als vollzogen gilt.

Ungeachtet dessen, daß der Vertrag bis zur Hinterlegung für Deutschland noch keine Wirksamkeit erlangt hatte, gab es keine Probleme der Versorgung mit spaltbarem Material. Trotz mehrfacher Interventionen seitens der Sowjetunion haben die USA die Nichtkernwaffenstaaten Euratoms weiterhin mit spaltbarem Ma-

terial beliefert. Die amerikanische Regierung hat in diesem Zusammenhang auf die mündliche »rule of reason« hingewiesen, wonach die USA von Anfang an erklärt hatten, die Euratom-Staaten so lange weiter zu beliefern, als sie in gutem Glauben mit der IAEO über den Abschluß eines Verifikationsabkommens verhandeln. Im übrigen hat sich später auch die Sowjetunion bereit erklärt, an die Bundesrepublik angereichertes Uran zu verkaufen, wobei bis zum Inkrafttreten des Verifikationsabkommens die Euratom-Sicherheitskontrollen aus ihrer Sicht genügen sollten.

Die Diskussion hat sich gelohnt

Die Ernüchterung, welche die jahrelangen Diskussionen des Vertragswerks brachten, hat letzten Endes zur Ordnung der nuklearen Situation beigetragen, so unvollkommen die Abmachungen auch sein mögen.

Die beiden Supermächte USA und Sowjetunion haben jetzt vor aller Welt die Verantwortung für die nukleare Rüstung. Gewiß steht dahinter der Wille zur Abrüstung. Wenn es dabei bis heute kaum Fortschritte gab, so war jener von ihnen gemeinsam auf den Tisch gebrachte Vertrag doch ein Ausdruck beginnender Entspannung. Dieser Wille zur Entspannung hat auch in kritischen Augenblicken – wie z. B. während der Nahost-Krisen – Früchte getragen.

Die Euratom-Organisation aber fand eine neue Aufgabe, die wichtiger sein mag als alles, was sie bisher leisten konnte. Die Kontrolle der Kernenergieindustrie in den neun europäischen Ländern wird für deren Einigkeit große Bedeutung gewinnen. Es werden Wege besonderer Art für das gemeinsame Vorgehen zu finden sein. Neben Großbritannien – einer Atommacht, die unterschrieben hat – und Frankreich – einer Atommacht, die nicht unterschreiben will – müssen sieben kernwaffenlose Staaten in einer Gemeinschaft zusammen leben.

Für Deutschland ist die Verankerung in einer unkündbaren Atomgemeinschaft von besonderem Wert. Sie ermöglicht es, die zweiseitigen und dreiseitigen Verträge zu realisieren, die zur Verwirklichung großer Projekte – wie des Schnellen Brüters, der Anreicherung von Uran und der Wiederaufarbeitung – zustande ge-

kommen sind. Vertragsgemäß soll der Atomsperrvertrag alle fünf Jahre überprüft werden. Im Mai 1975 hat die Konferenz in Genf stattgefunden, dieses Mal unter Mitwirkung der Bundesrepublik Deutschland.

Innenpolitisch hat die jahrelange innerdeutsche Diskussion Klarheit über die Lebenswichtigkeit der Kernenergie gebracht. Zu einer Zeit, da ihre Notwendigkeit wieder einmal heftig umstritten war, kam das dritte Deutsche Atomprogramm zustande. Trotz vieler divergierender Ansichten ist es nach dem Regierungswechsel 1969 von der neuen Regierung übernommen und verabschiedet worden. Das Deutsche Atomforum hat hierzu wertvolle Dienste geleistet. Seine überparteiliche Stellungnahme behielt besonderes Gewicht, weil im Präsidium alle vier Parteien des Bundestages vertreten sind und in den Grundfragen der Kernenergie immer volle Einigkeit besteht.

Auch die Erkenntnis, daß bei allem, was erreicht worden war, die Bundesrepublik Deutschland nicht gleichberechtigt war, hatte für die deutsche Selbsteinschätzung großen Wert. Die Abneigung gegen militärische Verwendung der Kernenergie war noch einmal sichtbar und nachgerade Allgemeingut der deutschen Öffentlichkeit geworden. Damit entfiel zumindest einer der Einwände gegen den deutschen Umgang mit der Kernenergie.

Wie unvollkommen jedoch alle diese Regelungen für die ferne Zukunft sein können, wurde der ganzen Menschheit klar, als die Inder ganz unerwartet am 18. Mai 1974 ihre erste Atombombe zündeten. Es wird sich herausstellen, ob sie den dazu erforderlichen Spaltstoff von einer Atommacht geliefert bekommen oder selbst erzeugt haben.

Eines aber ist sicher: Wenn eines Tages in der ganzen Welt Kernreaktoren in Betrieb sein werden, dann wird es an weiteren solchen Überraschungen nicht fehlen. Die Menschen werden dann in der Lage sein, an jedem beliebigen Platz in der Welt Kernexplosionen ohne großen Aufwand auszulösen.

Spätestens dann werden neue und bessere völkerrechtliche Lösungen erforderlich.

Kapitel 11
Der Schnelle Brüter

Das Städtchen Kalkar am Niederrhein war bisher nur Kennern der Spätgotik und Frührenaissance ein Begriff. Besonders die sieben Schnitzaltäre der Nikolai-Kirche bieten seit jeher einen Anziehungspunkt für kunstbeflissene Touristen.

In Zukunft aber hat die rund dreitausend Einwohner zählende Kleinstadt alle Chancen, Europas Kerntechniker in ihre Mauern zu locken. Seit 1973 nämlich entsteht hier am linken Rheinufer – genauer gesagt zwischen Flußkilometer 842,1 und 842,5 – ein sogenannter »Schneller Brüter«, der zur Zeit vielversprechendste, aber auch problemreichste Reaktortyp der Welt. Dieser Typ, der mehr Kernbrennstoff erzeugt, als er verbraucht, wird vielleicht in Zukunft an der »vordersten Frontlinie« im friedlichen Ringen um unsere Energieversorgung stehen.

Zwar war man in der Öffentlichkeit nach dem Bau der ersten konventionellen Kernreaktoren, die Natururan verwendeten, schon der Meinung, nun seien alle zukünftigen Energieknappheiten behoben. Wohl gibt es reichhaltige Lagerstätten, aber Natururan besteht eben zu 99,3 Prozent aus dem nicht spaltbaren Isotop 238, und spalten lassen sich ja nur die restlichen 0,7 Prozent Uran 235.

Alle Brutreaktoren sind darauf angelegt, außer dem seltenen Uran 235 auch das häufige Uran 238 zur Energiegewinnung heranzuziehen. Während der vorhandene nukleare Brennstoff nur für einige Jahrzehnte ausreicht, kann die Fortentwicklung der Brüterprojekte diese Frist auf viele Jahrhunderte verlängern. Bis dahin aber wird es dann vielleicht schon möglich sein, den im Überfluß verfügbaren Wasserstoff mit Hilfe der Fusion als Energiequelle zu verwenden.

Bekanntlich kann Uran 238 durch Anlagerung eines Neutrons an seinen Kern in einen Brennstoff verwandelt werden, nämlich in das Plutonium 239.

Dasselbe gilt für das Element Thorium mit dem Atomgewicht 232. Wird ein zusätzliches Neutron angelagert, so entsteht Uran 233, das ebenfalls ein Kernbrennstoff ist.

Sowohl Plutonium 239 als auch Uran 233 übertreffen in bezug auf die Spalteigenschaften in mancher Hinsicht sogar noch das »natürliche« Uran 235. Vor allem können beide Materialien während des Spaltprozesses mehr neue Neutronen freisetzen als Uran 235. Das gilt ganz besonders für Plutonium 239. Unter den richtigen technischen Verhältnissen setzt es bei der Spaltung im Mittel drei neue Neutronen frei. Für die Fortsetzung der Kettenreaktion selbst wird im Prinzip nur eines dieser Neutronen benötigt. Damit stehen also maximal zwei Neutronen zur Verfügung, die Uran 238 in weiteres Plutonium 239 verwandeln können.

Ständiger Überschuß an Kernbrennstoff

Diesen Prozeß der Umwandlung von Uran 238 in Plutonium 239 wie auch die Verwandlung des Thoriums in Uran 233 bezeichnet man als »Konversion«. Gelingt es, bei dieser Konversion durch eine gute Neutronenökonomie mehr Plutonium 239 oder Uran 233 zu erzeugen, als der Verbrauch von Spaltstoff ausmacht, dann sagt man: der Reaktor besitzt ein Konversionsverhältnis, das größer ist als 1. Einen solchen Reaktor bezeichnet man als »Brüter«, denn er »brütet« mehr neuen Kernbrennstoff aus, als er selbst verbraucht.

Die Konversion von Thorium in einem derartigen Vorgang geschieht z.B. im Hochtemperaturreaktor, ohne daß dabei das Verhältnis 1 bisher erreicht wird. Einfacher erscheint dies, wegen der ergiebigen Neutronenausbeute bei der Spaltung des Plutoniums, bei dem Uran-Plutonium-Prozeß. Beim Einsatz in die Brennelemente wird ein Überschuß von Uran 238 mit Plutonium 239 so vermischt, daß sowohl eine Kettenreaktion abläuft als auch das Uran 238 sich durch eine Neutronenanlagerung ebenfalls in Plutonium 239 verwandelt und mit verbrannt wird.

Die Umwandlung verläuft speziell bei der Uran-238-Plutonium-Konversion besonders vorteilhaft, wenn die Neutronen, von denen die Kettenreaktion getragen wird, nicht wie bei den Leichtwasserreaktoren durch Moderatoren gebremst sind. Sie müssen vielmehr die Anfangsgeschwindigkeit, mit der sie bei der Spaltung aus dem Atomkern herausgeschleudert werden, beibehalten. Für den Physiker heißt das: der Konversionsfaktor wächst mit der Neutronengeschwindigkeit. Daher die Bezeichnung »Schneller Brüter«.

Wenn der Moderator fehlt, hat das »Reaktorherz«, das Core, aus neutronen-physikalischen Gründen auch nur ein kleines Volumen. Es sollte je nach gewünschter Größe und Leistung der Anlage etwa zu 10 bis 15 Prozent aus Plutonium und im übrigen aus Uran 238 bestehen.

»Clementine« führte auf den Weg

Enrico Fermi prophezeite schon 1945, daß ein Land, das als erstes einen Brutreaktor entwickeln könne, sich damit einen erheblichen Wettbewerbsvorteil in der Erzeugung von Atomenergie sichern würde. Erste Erkenntnisse auf diesem Weg lieferte ein experimenteller Kernreaktor mit dem Namen »Clementine«, der von 1946 bis 1953 in Los Alamos in Betrieb war. Er arbeitete schon mit schnellen, unmoderierten Neutronen. Als Brennstoff wurde Plutonium und als Kühlmittel flüssiges Metall (Natrium) verwendet.

Ein wirklicher Schneller Brüter, der experimentelle Brutreaktor (EBR I), war es dann, der 1951 im US-Staat Idaho zum erstenmal die Erzeugung von elektrischem Strom durch Kernenergie demonstrierte. Als erstes Versuchskraftwerk, noch dazu als Brüter mit einer ganz neuen Technik, hatte der Reaktor noch Schwierigkeiten. Es ergaben sich bei ihm manche unvorhergesehenen Probleme. Er mußte stillgelegt werden, als ein Unfall sein Core zerstörte.

Wesentlich erfolgreicher war dann der EBR II, der 1963 in Idaho auf dem Reaktorversuchsgelände der Argonne National Laboratories in Betrieb genommen wurde, und, anders als der

EBR I, heute noch arbeitet. Beide EBR-Typen lieferten wertvolle Erkenntnisse für die weitere Entwicklung. Sie gehörten zu jenen Schnellbrütern, die wir heute die »erste Generation« nennen. Ähnliche Typen wurden auch in anderen Ländern gebaut. In England etwa war es der Dounreay Fast Reactor, in der Sowjetunion der Reaktor BR-5. Auch der schon wesentlich weiter entwickelte französische Reaktor RAPSODIE in Cadarache ist noch zu dieser ersten Generation zu rechnen.

Kinderkrankheiten der Brüter

Ein wagemutiges privatwirtschaftliches Unternehmen zur Energieversorgung, die Detroit Edison Company, errichtete im Jahre 1956 in der Nähe von Detroit sogar schon einen Schnellen Brüter als Leistungs-Versuchsreaktor. Er ging 1960 in Betrieb, war aber von mancherlei Pech verfolgt, weil damals die schwierige Technologie solcher Anlagen noch nicht voll beherrscht wurde. Insgesamt legte jedoch diese erste Generation von Schnellbrut-Reaktoren das notwendige technische und wissenschaftliche Fundament für eine außerordentlich wichtige Entwicklung, die zu Beginn der sechziger Jahre einsetzte und noch heute nicht abgeschlossen ist.

Worin liegen die Schwierigkeiten, die bei einem Schnellbrüter berücksichtigt und überwunden werden müssen? Weil das Core eines solchen Reaktors ohne Moderator arbeitet und deshalb klein und kompakt ist, wird Wärme in einem relativ geringen Volumen frei. Dadurch entstehen Kühlungsprobleme. Aus einem Raum, der noch viel kleiner ist als das Core der heutigen Leichtwasserreaktoren, müssen große Leistungen wie z. B. 1000 Megawatt gewonnen werden. Das Core des Reaktors muß deshalb so konstruiert sein, daß die große Leistung der auf winzigem Raum freiwerdenden Energie wirtschaftlich zur Erzeugung von Wärme ausgenutzt werden kann.

Der Unterschied zu dem jetzigen Leichtwasserreaktor ist ersichtlich. Dieser enthält etwa ebensoviel Uran 235 wie der Brüter Plutonium. Im Leichtwasserreaktor ist das U 235 stark verdünnt durch das Vorhandensein von einem großen Überschuß an Uran 238; außerdem ist es räumlich verteilt durch den Moderator zwi-

schen den Brennelementen. Im Schnellbrüter-Kernkraftwerk dagegen beträgt die Anreicherung zwischen zehn und fünfzehn Prozent, und der Moderator fehlt.

Kühlmittel – eine heikle Frage

Das erste Problem der Schnellen Brüter war deshalb, ein geeignetes Kühlmittel zu finden. Schon früh sind flüssige Metalle dafür in Betracht gezogen worden. Damit trat jedoch eine weitere Schwierigkeit auf.

In einem Leichtwasserreaktor bewirkt die Entfernung des Kühlmittels, daß sich der Reaktor automatisch abschaltet.

Beim Schnellen Brüter mit metallischer Kühlung – als Kühlmetall wurde vor allem flüssiges Natrium gewählt – ist es gerade umgekehrt. Ein Verlust an Kühlmittel – oder auch nur eine darin enthaltene Dampfblase – bedeutet in der Regel eine Erhöhung der Kritikalität. Es kommt also zu einer Leistungssteigerung. Diese kann ihrerseits dazu beitragen, weiteres Kühlmittel auszutreiben und so den Reaktor zu einer sogenannten Exkursion, d.h. einer Übersteigerung der Neutronenfreigabe, zu bringen, bei der große Mengen von Energie frei werden.

Die Kühlung mit Natrium hat ein weiteres Problem zur Folge. Das Kühlmittel wird durch die Neutronenstrahlung selbst radioaktiv. Ein großer Leistungsreaktor enthält deshalb viele Millionen Curie an radioaktivem Natrium. Außerdem reagiert Natrium heftig mit Wasser. Mit dem radioaktiven Natrium des primären Kühlkreises kann nicht direkt in Dampferzeugern Wasserdampf zum Turbinenantrieb produziert werden. Vielmehr muß vom primären Kühlkreis – das ist heute die Regel – die Wärme auf einen sekundären Natriumkreislauf übertragen werden, der dann erst den Dampf erzeugt. Das verursacht zusätzliche Kosten. Auch andere Kühlmittel, Wasserdampf oder Heliumgas, sind für Schnelle Brutreaktoren vorgeschlagen worden. Aber keine dieser Lösungen ist voll befriedigend. Bei der Heliumkühlung kann allerdings bei einem Kühlmittelverlust aus dem Reaktor keine unkontrollierte Reaktivität entstehen. Gaskühlung, mit der zugleich auch sehr hohe Temperaturen erreicht werden können, hat also auf längere

Sicht vielleicht größere Chancen. Vorerst freilich ist auch sie noch mit mannigfachen Schwierigkeiten verbunden.

Deshalb ist Natrium nach wie vor das bevorzugte Kühlmittel für Schnelle Brutreaktoren. Das gilt für die USA ebenso wie für Großbritannien, Frankreich, Deutschland und Japan.

Zunächst wurde das Hauptgewicht auf ein möglichst hohes Brutverhältnis gelegt, weil es auf eine starke Plutonium-Ausbeute ankam. Wenn je Spaltung wirklich zwei Neutronen für die Umwandlung von Uran 238 in Plutonium 239 übrigbleiben, ist die Verdopplungszeit gut. Damit ist die Zeitspanne gemeint, in der die Menge des bei Beginn des Reaktorbetriebes eingesetzten Spaltstoffs verdoppelt werden kann.

Zu Beginn der sechziger Jahre zeigte sich jedoch schon, daß die übergroßen Kühlprobleme eines sehr kleinen Core zu Schwierigkeiten führen. Deshalb verwendete man statt des metallischen Uran-Plutonium-Gemisches bald Uran-Plutonium-Oxide als Kernbrennstoffe.

Oxide enthalten Sauerstoff, der moderierende Eigenschaften besitzt. Dadurch werden in den Reaktoren die Neutronengeschwindigkeiten herabgesetzt. Sie waren jetzt nicht mehr reine »schnelle« Reaktoren, sondern bekamen einen sogenannten »intermediären« Charakter. Heute werden fast ausschließlich derartige intermediäre Schnelle Brüter mit oxidischen oder anderen keramischen Mischbrennstoffen aus Uran-Plutonium-Mischungen entwickelt.

Die geringere Leistungsdichte, die mit einer Vergrößerung des Corevolumens einherging, vermehrte gleichzeitig die Chancen, in Brütern mit Erfolg gasförmige Kühlmittel zu verwenden und so die mit Natrium verbundenen Gefahren zu reduzieren. Trotzdem liegt auch mit Oxidbrennstoffen der Schwerpunkt einschlägiger Planungen in allen Ländern bei den natriumgekühlten Systemen.

In Deutschland begann das Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik im Kernforschungszentrum Karlsruhe die Schnellbrüter-Entwicklung schon bald nach Abschluß der Entwurfsarbeiten zum Reaktor FR 2. Dies geschah im Zuge einer Neukonzeption für die künftigen Arbeiten des Zentrums. Der damalige Leiter der theoretischen Abteilung dieses Instituts, Wolf

Häfele, wurde für ein Jahr an das Oak Ridge National Laboratory in die USA entsandt, um die Problematik der Brüterentwicklung an der Quelle zu studieren. Die Wahl fiel gerade deswegen auf Oak Ridge, weil bekannt war, daß sein Leiter, Alvin M. Weinberg, der Schnellbrüter-Entwicklung eher kritisch gegenüberstand.

Mitte 1960 wurde dann in Karlsruhe offiziell das »Projekt Schneller Brüter« gestartet. Zunächst wurden alle drei Kühlmittel – Natrium, Helium und Wasserdampf – in Betracht gezogen. Heute liegt der Schwerpunkt beim Natrium, während die zukunftsträchtige Kühlung mit Helium vorerst nur als eine ergänzende Entwicklung am Rande verfolgt wird.

Uranvorräte nicht unbegrenzt

In den letzten 15 Jahren gewannen die Brüterprojekte in den verschiedenen Staaten ständig an Dringlichkeit und Priorität. Das war nicht zuletzt ein Ergebnis der Analysen des Weltenergiebedarfs bis zum Jahr 2000 und danach. Die Untersuchungen zeigten, daß außer dem Kernspaltungsreaktor mit Bruteigenschaften keine Energiequelle existiert oder vorhersehbar ist, die ergiebiger, wirtschaftlicher und sauberer wäre.

Derlei Erkenntnisse haben die Regierungen der verschiedenen Länder zu immer größeren Anstrengungen angespornt. In der Bundesrepublik hat man sehr bald erkannt, daß es gut wäre, die eigenen Bemühungen mit denen anderer Nationen zu verbinden. Das Resultat ist das sogenannte Debenelux-Projekt für den Bau eines prototypischen Brüterkernkraftwerks von 300 Megawatt, an dem außer der Bundesrepublik Deutschland noch Belgien, Holland und Luxemburg beteiligt sind. Damit soll demonstriert werden, daß Errichtung und Betrieb eines wirtschaftlichen und absolut sicheren Brüterkernkraftwerks möglich ist.

Ein großer Teil des Kernforschungszentrums Karlsruhe hat sich von Anfang an dieser Aufgabe gewidmet. Euratom schloß sich 1963 den Bemühungen an. Es wurde ein gemeinsames fünfjähriges Forschungs- und Entwicklungsprogramm ins Leben gerufen. Über Euratom wurden Verbindungen zu dem belgischen Atomforschungszentrum CEN in Mol und dem niederländischen Reak-

torzentrum RCN in Petten geknüpft und ein weiterer Kontakt zur amerikanischen Atomenergiekommission aufgenommen. Engen Informationsaustausch gab es schließlich mit dem französischen Zentrum in Cadarache. Aus diesen internationalen Beziehungen entstand das erste deutsche Forschungsprogramm, in dem Arbeiten über Physik, Brennstoff- und Materialforschung, frühe Konstruktionsstudien, Sicherheitsüberlegungen und die Bewertung der verschiedenen Kühlmittel zusammengefaßt waren.

Als Beispiele für die zahlreichen wissenschaftlichen und technischen Anstrengungen der sechziger Jahre innerhalb dieses Programms seien nur die wenigen ganz großen Einzelanlagen erwähnt, die auch aus heutiger Sicht noch von grundsätzlicher Bedeutung sind.

Anlagen zu Studienzwecken

Zum Studium der Core-Physik ist die sogenannte »Schnelle Nullenergie-Anlage Karlsruhe« (SNEAK) errichtet worden, in der ein ganzes Brüter-Core mit Plutonium und Uran 238 aufgebaut und vermessen werden kann. Gleichzeitig wurden umfangreiche Rechenprogramme für die großen Karlsruher IBM-Computer entwickelt, deren Brauchbarkeit man dann an Core-Modellen in der SNEAK überprüfte.

Um Erfahrungen mit Natrium als Kühlmittel zu gewinnen, wurde die Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage (KNK) gebaut. Dieser Leistungsreaktor von 50 Megawatt enthielt in seinem Core zunächst einen Moderator (Zirkonhydrid), verwendete also thermische Neutronen. Die KNK wurde 1971 kritisch. Zur Zeit wird ihr ein »schnelles Core« eingefügt, d.h. eines ohne Moderator, das mit schnellen Neutronen arbeitet. Von der Firma Interatom entworfen und gebaut, hat sich die KNK bisher gut bewährt und wertvolle technische Erfahrungen geliefert.

Es zeigte sich von vornherein, daß eine so große Aufgabe wie die Entwicklung wirtschaftlich arbeitender Schneller Brüter weder in einem einzigen Kernforschungszentrum oder von einem Industriezweig noch auch nur auf nationaler Basis allein gelöst werden konnte. Auf verschiedenen Ebenen entwickelte sich deswegen in

Europa eine Zusammenarbeit: zwischen Regierungen, nationalen und internationalen Forschungszentren und Organisationen und schließlich im industriellen Bereich. Solche Zusammenarbeit nahm konkrete Formen an, als man sich realistischen Vorstellungen über den endgültigen Reaktortyp näherte. Das erste Ziel besteht in einem Kernkraftwerk von etwa 1000 Megawatt; für später sind Anlagen bis zu 2000 Megawatt vorgesehen.

Wie weit der Erfahrungsaustausch ging, zeigt das Beispiel des sogenannten SEFOR-Reaktorexperiments (*S*outhwest-*E*xperimental *F*ast *O*xide *R*eactor) in den Vereinigten Staaten.

Eine der wesentlichen Größen für die Stabilisierung eines schnellen natriumgekühlten Reaktors ist der sogenannte Dopplerkoeffizient der Reaktivität. Er bewirkt, daß trotz der geschilderten Schwierigkeiten bei Temperaturanstiegen eine Selbstregelung des Reaktors eintritt.

Reaktivität ist ein Maß für die Stärke der Kettenreaktion, d.h. der Multiplikation der Neutronen: Reaktivität 0 bedeutet, daß der Reaktor mit einer konstanten Neutronen-»Bevölkerung« arbeitet. Wächst die Reaktivität über 0, z.B. durch Ausfahren eines Regelabsorberstabes, so nimmt die Neutronenzahl und damit auch die Leistung des Reaktors zu.

Dopplereffekt bedeutet, daß aufgrund höherer Temperatur, d.h. höherer Geschwindigkeit der Uranatome, die Neutronenverluste zunehmen und die Kettenreaktion geschwächt wird.

Sowohl in den USA als auch in Deutschland war man in den frühen sechziger Jahren darauf aus, diesen Effekt in einem Reaktorexperiment genauer zu untersuchen. Verschiedene amerikanische Energieversorgungs-Unternehmen aus dem Südwesten der Vereinigten Staaten taten sich zusammen, um ein solches Experiment mit etwa 5 Millionen Dollar zu unterstützen. Die General Electric Company hatte die Organisation dieser Gemeinschaftsarbeit übernommen.

Die Bundesregierung fand sich bereit, einen ähnlichen Beitrag für die Teilnahme von Karlsruhe an diesem Experiment zur Verfügung zu stellen. So wurde es möglich, den SEFOR-Reaktor in der Nähe von Fayetteville im Staate Arkansas zu bauen; er war speziell für derartige Exkursions-Experimente ausgelegt. Er

wurde im Mai 1969 kritisch und führte seine berühmt gewordenen Exkursionsversuche im Jahr 1971 unter weitgehender Beteiligung des Kernforschungszentrums Karlsruhe aus. Die Experimente demonstrierten die Doppler-Reaktivitätsrückwirkung eines mit Plutonium-Brennstoff betriebenen Brutreaktors bei voller Leistung.

Dieses erfolgreiche Gemeinschaftsprojekt ist vor allem dank der vorbildlichen Zusammenarbeit und der sorgfältigen und detaillierten Planung zwischen den amerikanischen und europäischen Partnern zustande gekommen.

Eine schwierige Rechtslage

Am Anfang drohten Schwierigkeiten insofern, als die Bundesrepublik Deutschland ebensoviel Kontrolle über das Projekt besitzen sollte wie jeder der anderen Beteiligten. Das Atomenergiegesetz der Vereinigten Staaten verbietet jedoch in den USA ausdrücklich die Zulassung von atomaren Projekten, die durch eine ausländische Macht beherrscht oder kontrolliert werden.

Das Problem wurde von Rechtsanwälten gelöst, die Karlsruhe in New York mit seiner Vertretung beauftragt hatte. Sie entwickelten ein System von Teilverträgen, aufgrund deren die South West Atomic Energy Associates, die schon erwähnte Gruppe von amerikanischen Energieversorgungs-Unternehmen, formell alleiniger Eigentümer der Anlage wurde. Karlsruhe, das den gleichen Kostenanteil übernommen hatte, blieb nur ein Subkontraktor.

Der Auftrag für den Bau des SEFOR-Reaktors und die Abwicklung des für ihn vorgesehenen Forschungsprogramms ging an die General Electric. Die amerikanische Atomenergiekommission (AEC) verpflichtete sich vertraglich zur Lieferung des Plutonium-Brennstoffs. Später schloß Euratom sich dem Vertrag zwischen Karlsruhe und der amerikanischen Gruppe an.

Bei den ursprünglichen Verhandlungen in den frühen sechziger Jahren blieb der damalige Leiter der Reaktorabteilung der AEC, F. Pittman, zunächst recht zurückhaltend. Er wollte wissen, was die europäischen Partner denn zu tun gedächten, wenn die AEC sich an dem Projekt nicht beteiligen würde. Die deutsche Delegation unter Leitung von Ministerialdirigent Joachim Pretsch

und Karl Wirtz ließ keinen Zweifel daran, daß der Reaktor dann eben in Europa gebaut werden müsse. Der amerikanischen Atomenergiekommission würde man gegebenenfalls eine Beteiligung anbieten. Auch die Beschaffung des notwendigen Plutoniums könne wohl sichergestellt werden.

Unter solchen Aspekten erschien Pittman eine Entwicklung in den USA denn doch vorteilhafter. Nachträglich muß allerdings zugegeben werden, daß eine Realisierung der Experimente in Europa sehr viel schwieriger geworden wäre, da die AEC eine große Zahl von Hilfsmitteln zur Verfügung stellte. Vor allem errichtete sie auch Probeaufbauten des SEFOR-Core in einem ihrer Kernforschungszentren, wie sie in Europa damals nicht möglich gewesen wären.

Entscheidung für SNR 300

1967/68 wurde endgültig entschieden, daß auch in Deutschland flüssiges Natrium das Kühlmittel und das Mischoxid (UO_2/PuO_2) der Brennstoff für diese erste Generation sein sollten. Zunächst war ein mit Natrium gekühlter Prototyp von 300 Megawatt geplant, den wir heute SNR 300 (Schneller Natrium-Reaktor mit 300 Megawatt) nennen. Dieser Brüter wurde das typische Beispiel dafür, wie heute staatliche Unterstützung finanziell und organisatorisch in eine technologische Entwicklung eingreift. Hierbei zeigten sich noch einmal verstärkt die grundsätzlichen Unterschiede gegenüber der Hilfe bei wissenschaftlicher Grundlagenforschung, wie sie etwa durch die Max-Planck-Gesellschaft oder die Deutsche Forschungsgemeinschaft geleistet wird.

Nunmehr kam es darauf an, ein Industrieunternehmen für das Projekt zu gewinnen. Die Wahl fiel auf die Interatom. Sie war aus einer Initiative der Demag und der amerikanischen Firma Atomics International entstanden und hatte sich schon früh durch eine Reihe von erfolgreichen Reaktorentwicklungen ausgezeichnet. Sie hatte auch das KNK-Projekt entwickelt.

Das Kernforschungszentrum Karlsruhe übernahm ein sogenanntes Basis-Programm, während die eigentliche Reaktorentwicklung bei der Firma Interatom liegt.

Siebzig Prozent der Kosten werden von Deutschland, je fünfzehn von Belgien und Holland getragen. Deshalb mußten sich nicht nur die Regierungen und Kernforschungszentren über ihre einzelnen Beiträge und Aufgaben verständigen, sondern auch auf der Ebene der Industrie entsprechende Vereinbarungen getroffen werden. So gründete die Interatom in Deutschland zusammen mit den Firmen BELGONUCLEAIRE in Belgien, NERATOM in Holland und LUXATOM in Luxemburg eine Internationale Natrium-Brutreaktor-Baugesellschaft (INB) mit dem Ziel, das Prototyp-Kraftwerk SNR 300 gemeinsam zu entwickeln und zu bauen.

Als Auftraggeber wurde, unter weitgehender Förderung durch die Regierungen, eine Schnellbrüter-Kernkraftwerks-Gesellschaft (SBK) ins Leben gerufen, an der die Energieversorgungsunternehmen Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk (RWE), Bundesrepublik Deutschland, SYNATOM in Belgien und SEP in Holland beteiligt sind. Als Standort des SNR-300-Reaktors wurde Kalkar am Niederrhein gewählt, das für jedes der drei Beteiligungsländer leicht zugänglich ist.

Am industriellen Programm nimmt von deutscher Seite auch die Firma Nukern maßgeblich teil. Zusammen mit der BELGONUCLEAIRE ist sie für die Brennstoffentwicklung verantwortlich.

Das Zusammenwirken aller Beteiligten wird durch einen Projektausschuß koordiniert, dem Vertreter der Regierungen, der Forschungszentren, der Industrie und der für den Bau verantwortlichen Gesellschaften angehören.

In Kalkar wird gebaut

Nach zehn Jahren der Grundlagenforschung, der Entwicklung von Komponenten und der Konstruktionsstudien begann 1973 schließlich der Bau des SNR 300 in Kalkar. Wie schon erwähnt, wurden ähnliche Prototypen in anderen Ländern entwickelt oder erstellt; insgesamt nicht weniger als fünf, nämlich je einer in den USA, in Japan, Rußland, England und Frankreich.

Die Daten aller dieser Prototypen sind einander ähnlich. Der

Stand der Arbeiten ist jedoch sehr verschieden. Der französische Reaktor ist in Betrieb und läuft mit voller Leistung, der englische wurde kritisch und arbeitet bisher mit sehr kleiner Leistung. In Rußland wurde der entsprechende Typ vor einiger Zeit kritisch, hatte jedoch erhebliche Störungen in seinen Wärmeaustauschern, so daß er zur Zeit nur mit verringerter Leistung in Betrieb ist.

Die Projekte in Amerika und Deutschland liegen im Rennen weit zurück und werden noch mehrere Jahre bis zu ihrer Fertigstellung benötigen. Im Fall des deutschen SNR 300 hat das sicherlich auch mit der Zusammenarbeit verschiedener Länder zu tun, die nun einmal manche Verzögerung mit sich bringt. Das Hauptproblem dürfte aber darin bestehen, daß die Lizenzierungsbedingungen in den USA und in Deutschland sehr viel schärfer gefaßt sind als etwa in Frankreich. Im Falle Deutschland brachte allein die Standortfrage erhebliche Verzögerungen.

Als schwerste Belastung stellte sich bei fortschreitender Bearbeitung des Projekts jedoch heraus, daß die ursprünglich angenommenen Kosten bei weitem überschritten werden. Schon 1973 wurden die kumulativen Ausgaben für die Gesamtentwicklung des Projekts Schnelle Brüter einschließlich des SNR 300 auf zwei bis drei Milliarden DM geschätzt. Für den 300-Megawatt-Prototyp der Amerikaner, den sogenannten Clinch River Reactor von 300 Megawatt in Tennessee in den USA, ist derzeit bis zur Fertigstellung in den frühen achtziger Jahren eine Summe von über 1,7 Milliarden Dollar vorgesehen. Noch heute ist das Projekt »Schneller Brüter« in Kalkar ständiger Gegenstand von Diskussionen und öffentlicher Kritik, insbesondere wegen der hohen Kosten. Gerade aber an diesem Punkt ist die Kritik ungerecht. Bei der Addition werden dem SNR 300 mehrere hundert Millionen DM zugerechnet, welche in Karlsruhe als allgemeiner Forschungsaufwand entstanden sind. Man kann deswegen auch kaum die Ausgaben für den ersten Prototyp zur Grundlage von Kostenberechnungen für den elektrischen Strom machen. Hierzu kann man wohl erst einen größeren Typ heranziehen.

Auf die öffentliche Meinung hat es sich auch ungünstig ausgewirkt, daß im Jahre 1974 bekanntgegeben wurde, der Schnelle Brüter werde in seiner ersten Anordnung gar nicht brüten. Unter

dem Druck der Finanzlage hatten sich die Bestellerfirmen entschlossen, die erste Core-Ausführung zu verbilligen und erst später Brennelemente einzusetzen, welche dann einen Konversionsfaktor von größer als 1 einzustellen gestatten. Als das publik wurde, setzte eine abermalige Kritik ein.

Man muß aus dem Dilemma heraus

Inzwischen verzögert sich in den USA und Deutschland der Abschluß der Arbeiten immer mehr. Angesichts so vieler unabsehbarer Schwierigkeiten kommen zwar manche Zweifel auf, ob die Zeit wirklich schon reif sei für solche ebenso gewaltigen wie kostspieligen Entwicklungen. Die Energiekrise hat andererseits in dramatischer Weise gezeigt, daß die Energieversorgung der Zukunft außergewöhnliche Anstrengungen verlangt. Niemand, der die drohenden Gefahren in diesem Bereich wirklich überblickt, könnte die Verantwortung für den Abbruch oder auch nur für eine Einschränkung der Weiterentwicklung des Schnellen Brüters übernehmen.

Eben diese Weiterentwicklung wird sich in Deutschland unter dem Einfluß sowohl der geschilderten technischen und ökonomischen Aspekte als auch der sich mehr und mehr einspielenden internationalen Wechselwirkungen vollziehen. Wahrscheinlich wird die Debenelux-Arbeitsgemeinschaft sich in der bisherigen Form nicht fortsetzen. Die Tatsache, daß Frankreich mit seinem bereits arbeitenden Schnellbrüter PHENIX einen bedeutenden Vorsprung erreicht hat, dürfte die Entscheidungen anderwärts forcieren. Schon denkt man dort an einen Super-PHENIX, einen Typ von etwa 1000 Megawatt. Die Planung dafür ist seit einiger Zeit im Gange.

Die immer drängenderen Überlegungen der Energieversorgungsunternehmen unseres Kontinents werden vielleicht am besten daran ersichtlich, daß das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk und das italienische Energieversorgungsunternehmen ENEL schon jetzt ihr Interesse bekundet haben, sich am Bau des Super-PHENIX finanziell zu beteiligen.

Die Gesamtentwicklung gerät also zunehmend unter Druck.

Nachhaltige Bemühungen um eine Beschleunigung von Forschung und Versuchsprojekten sind überall zu erkennen. Da jedoch der wirkliche Fortschritt selbst mit großen Mitteln nicht erzwungen werden kann, entstehen unvermeidlich Spannungen und Konfliktsituationen, wie sie gerade für die Entwicklung des Schnellen Brutreaktors charakteristisch sind.

Auch in der Bundesrepublik sind die Vorbereitungen für einen sogenannten »SNR 2«, dessen Leistung zwischen 1000 und 2000 Megawatt liegen soll, angelaufen. Die Hauptverantwortung liegt bei der Industrie (Interatom/Kraftwerk Union AG, KWU). Das Kernforschungszentrum Karlsruhe und andere Forschungseinrichtungen in Deutschland sind aber in hohem Maß eingeschaltet. In England wird der sogenannte Commercial Fast Reactor (CFR) geplant, der eine Leistung von etwa 1000 Megawatt haben soll.

In den USA ist die Energielücke nicht so bedrohlich wie in Europa; Uranvorräte sind im Lande reichlich vorhanden. Dort scheint der Druck auf die Fortentwicklung des Schnellen Brutreaktors geringer zu sein. Der Prototyp Clinch River geht jedenfalls viel langsamer voran. Im Augenblick ist ein Baubeginn noch nicht abzusehen.

Vorteile mit neuen Kühlmitteln

In der Bundesrepublik Deutschland ist intensiv daran gearbeitet worden, einen Schnellen Brüter mit Dampfkühlung zu entwickeln. Dies hätte den sehr großen Vorteil, daß auf eine breite Erfahrung mit der Dampftechnologie bei konventionellen Kraftwerken zurückgegriffen werden könnte. Es bringt aber auch eine Reihe von Nachteilen mit sich.

Zunächst handelt es sich wieder um ein Zweiphasenmedium mit der Gefahr, bei Temperaturschwankungen vom gasförmigen in den flüssigen Zustand oder umgekehrt überzugehen und dadurch Reaktivitätsstörungen in den Reaktor hineinzutragen. Auch die Materialprobleme sind beträchtlich.

Diese Schwierigkeit hätte vielleicht durch eine geeignete Konstruktion bewältigt werden können. Ein viel schwerwiegenderer Nachteil jedoch ist, daß sich für Schnelle Brutreaktoren mit

Dampfkühlung ein sehr schlechter Brutfaktor errechnet. Es ist sogar anzunehmen, daß ein echtes Brüten mit diesem Reaktortyp nie erreicht werden kann. Damit wäre natürlich der wesentliche Antrieb entfallen, überhaupt eine derart komplizierte Anlage zu errichten. Nach jahrelangen Bemühungen haben deshalb das Kernforschungszentrum Karlsruhe und die ebenfalls beteiligte Industrie (AEG) im Frühjahr 1974 auch formell diese Arbeiten abgeschlossen, nachdem sie schon seit längerer Zeit nur noch im Rahmen von Grundsatzstudien betrieben worden waren.

Wesentlich aussichtsreicher dagegen erscheint die Gaskühlung mit Helium. Gerade in diesem Zusammenhang hat Helium verschiedene günstige Eigenschaften. Es ist ein einatomiges Gas, das durch Kernstrahlungen nicht zerstört werden kann. Es absorbiert keine Neutronen und kann nur in einer Phase auftreten. Helium ist chemisch inert und greift deshalb die Materialien im Core und in den primären Kreisläufen nicht durch chemische Korrosion an. Es kann bis auf sehr hohe Temperaturen erhitzt werden und bringt vor allem keine Reaktivitätsstörungen in den Reaktor. Ob das Edelgas einen hohen oder niedrigen Druck hat, beeinflußt die Reaktivität eines schnellen Reaktors nur unwesentlich – jedenfalls nicht so, daß dadurch die gefürchteten Leistungsexkursionen auftreten können.

Schon 1967 wurde deshalb vom Kernforschungszentrum Karlsruhe der Vorschlag gemacht, die bereits in den frühen sechziger Jahren einmal in Betracht gezogene Heliumkühlung für Schnelle Brutreaktoren wieder aufzugreifen. Sie sollte in einem Ergänzungsprogramm so untersucht werden, daß jederzeit Vor- und Nachteile dieser Kühlungsform studiert werden könnten.

Der Vorschlag wurde vom Bundesministerium für Forschung und Technologie gebilligt. Die Firma KWU soll bei diesen Arbeiten der Industriepartner sein. Zugleich wurde ein sehr enger, inzwischen auch vertraglich festgelegter Erfahrungsaustausch mit der General Atomic Company in San Diego in Kalifornien begonnen. Als Ergänzung zu seinem schon laufenden Hochtemperaturreaktorprogramm hatte dieses Unternehmen ebenfalls Untersuchungen zur Kühlung Schneller Brüter mit Helium aufgenommen.

Aber Helium hat auch Nachteile, die erwähnt werden müssen. Vor allem ist bei Helium – wie bei jedem gasförmigen Kühlmittel – zur Abführung einer angemessenen Wärmemenge aus einem relativ kleinen schnellen Core ein hoher Gasdruck notwendig. Er liegt in der Größenordnung von etwa 80 Atmosphären. Sollen auch die Vorteile der möglichen hohen Temperaturen ausgenutzt werden, so wäre es auf lange Sicht unumgänglich, statt metallisch umhüllter Brennelemente, wie sie zur Zeit auch für gasgekühlte Schnelle Brüter vorgesehen sind, keramische Brennelemente zu verwenden. Sie wären nicht mit Stahl ummantelt, sondern mit einem keramischen Material, etwa Graphit oder einem ähnlichen Stoff.

Solche Substanzen wiederum haben unerwünschte Moderatoreigenschaften, d. h. die Neutronengeschwindigkeiten würden stärker herabgesetzt und dadurch wäre der Bruteffekt beeinträchtigt. Damit aber ginge ein wesentlicher Vorteil der Heliumkühlung verloren. Welcher Bruteffekt wirklich erreicht werden kann, ist noch nicht sicher. Jedenfalls ist der echte Bruteffekt eines natriumgekühlten Schnellen Brüters soviel niedriger, die Verdopplungszeit so lang und seine Einführung so schwierig, daß in den kommenden ein bis zwei Jahrzehnten tatsächlich Engpässe in der Uranversorgung der Bundesrepublik Deutschland und vieler anderer Länder auftreten könnten.

Ein Prototyp für die westliche Welt?

Hier könnte ein Reaktor mit einem hohen Brutfaktor wie der gasgekühlte Schnelle Brüter helfen. Allerdings nur unter der Voraussetzung, daß die Plutoniummenge, die zum Start des Brüters notwendig ist, nicht zu groß ausfällt. Bei den gegenwärtigen Vorschlägen für die ersten Prototypen ist dies noch der Fall. Es scheint jedoch, daß Varianten mit geringerem, dem Natriumbrüter entsprechenden Plutoniumbedarf möglich sind.

Die derzeitige Entwicklung der gasgekühlten Schnellen Brüter bietet noch einen weiteren günstigen Aspekt. Sie steht nicht unter dem Zeitdruck und auch noch nicht unter der scharfen Konkurrenz wie der Natriumbrüter. So ist es bisher – nicht zuletzt unter dem

Einfluß der deutschen Gruppe – gelungen, die amerikanische und die deutsche Entwicklung einander anzugleichen. Es müßten nicht, wie jetzt bei den Natriumbrütern, sechs oder sieben fast gleiche Prototypen in verschiedenen Ländern errichtet werden. Vielleicht könnte sich die westliche Welt sogar auf einen einzigen Prototyp mit einer Leistung von 300 Megawatt einigen. Hierzu wären allerdings auf Regierungs- und vor allem Industrieebene Absprachen nötig, die wohl sehr viel weiter reichen müßten, als dies bisher in der Kerntechnik bei Großanlagen der Fall war.

Die außerordentlich hohen Entwicklungskosten, die heute ein Prototyp bis zu einer echten Erprobung erfordert, und die auch im Fall eines Gasbrüters nicht gering sein dürften, wären vielleicht das stärkste Argument für eine derartige Einigung.

Kapitel 12
Über die Uran-Graphit-Linie zum Hochtemperaturreaktor

Am Ende des Zweiten Weltkrieges sah sich Großbritannien ohne eine eigene kerntechnische Entwicklung. Dabei hatten englische Forscher wichtige Grundlagen der Kernphysik geschaffen. Schon 1912 war Ernest Rutherford die erste künstliche Kernreaktion und Elementumwandlung geglückt. Sein Schüler James Chadwick entdeckte 1932 das Neutron.

Chadwick und andere britische Kernphysiker waren auch intensiv an den Arbeiten beteiligt, die in den USA 1942 zum Bau des ersten Uran-Graphit-Reaktors führten. Diese Entwicklung selbst nahm aber ihren Verlauf in Amerika und nicht auf den Britischen Inseln. Nur die Vereinigten Staaten waren um jene Zeit in der Lage, die enormen Mittel, die für diese Forschung nötig waren, zur Verfügung zu stellen. Außerdem bot sich das Land jenseits des Atlantiks – da es buchstäblich weit vom Schuß lag – als ein günstiger Standort an; das britische Inselreich und seine Industrie waren ja zeitweilig massiven deutschen Luftangriffen ausgesetzt.

Jetzt, nach Kriegsende, hatte Großbritannien viel nachzuholen. Auch wollte man vom »großen Bruder« drüben in der Kerntechnik möglichst bald unabhängiger werden. So konnte der Weg nur über eigene große Anlagen führen, die mit den herkömmlichen Materialien arbeiteten: mit Natururan und Graphit. Solche Kraftwerke würden Plutonium produzieren, das dann wieder als Kernbrennstoff für militärische Zwecke verwendet werden könnte.

Auf diese Weise ersparten sich die Briten zunächst eine kostspielige Urananreicherungsanlage. Mit Natururan-Reaktoren schufen sie sich zugleich auch noch die Chance zur friedlichen Nutzung der Kernenergie. Dies war um so bedeutungsvoller, als man in Großbritannien besonders frühzeitig die zukünftigen Probleme

der Energieversorgung und den Rückgang der Kohleförderung erkannt hatte.

Als es in Genf 1955 zum ersten internationalen Erfahrungsaustausch kam, überraschten die Engländer damit, daß ihr Start in die industrielle Nutzung der Kernenergie unmittelbar bevorstand. Schon ein Jahr darauf ging der erste Calder-Hall-Reaktor – benannt nach seinem Standort in Cumberland – mit 40 Megawatt in Betrieb. Ihm folgten bald, zum Teil am selben Ort, weitere Reaktoren mit wachsender Leistung. Diese ersten Typen enthielten als Brennstoff Natururan in metallischer Form, eingehüllt in eine »Magnox« genannte Magnesiumlegierung. Deshalb sprach man später von den »Magnox-Reaktoren«. Die stabförmigen Brennelemente waren in Kanäle von Graphit eingelagert, durch die Kohlensäuregas als Kühlmittel strömte.

England lag an der Spitze

Diese ersten großen Leistungsreaktoren gingen ohne besondere Schwierigkeiten in Betrieb. Bis zur Mitte der sechziger Jahre gab es ingesamt elf Kernkraftwerke vom Calder-Hall-Typ, von denen die größeren je etwa 300 Megawatt Leistung abgaben. England lag damit im industriellen Reaktorbau zunächst einmal an der Spitze. Mit den inzwischen entwickelten Leichtwasserreaktoren hatte der Calder-Hall-Typ aber den Nachteil der niedrigen Dampftemperatur von etwa 250 °C gemeinsam. Außerdem hatten die Graphitreaktoren wegen der Verwendung von Natururan und Graphit sehr große Dimensionen.

Im Jahre 1964 wurden die vorläufig letzten Anlagen vom Magnox-Typ in Auftrag gegeben. Es handelte sich um das Kernkraftwerk Wylfa mit zwei Reaktoren von jeweils 590 Megawatt. Jeder von ihnen enthält 595 Tonnen Natururan und 3740 Tonnen Graphit. Es mußten eigens Produktionsstätten für nuklearreinen Graphit errichtet werden. Dort wurde der elementare Kohlenstoff von Beimengungen wie Bor befreit, die zuviel Neutronen absorbieren. Der Wirkungsgrad dieser Reaktoren war zu niedrig; der Strompreis war nicht wettbewerbsfähig mit dem aus konventionellen Kraftwerken.

Eine grundsätzliche Verbesserung wurde auch dann nicht erreicht, als Mitte der sechziger Jahre in Nachfolge der Magnox-Typen die fortgeschrittenen gasgekühlten Reaktoren (advanced gascooled reactors, AGR) in Auftrag gegeben wurden. Sie benutzten schwach angereichertes Uran in Form von Uranoxid (UO_2). Anstelle des Magnox-Hüllmaterials wurde jetzt Stahl verwendet. Wie bisher dienten Graphit als Moderator und Kohlensäure als Kühlmittel. Diese Reaktoren waren wesentlich kompakter. Die Brenndauer der Stäbe wurde länger, die Kapitalkosten blieben geringer. Außerdem konnte die Temperatur im Kühlkreislauf auf etwa 400 °C gesteigert werden.

Schon beim Bau dieser Reaktoren stellten sich beträchtliche Schwierigkeiten ein. Die Folge war, daß bis Ende des Jahres 1974 noch keines der fünf in Auftrag gegebenen AGR-Kernkraftwerke mit insgesamt über 6000 Megawatt elektrischer Leistung seinen Betrieb hatte aufnehmen können. Korrosionserscheinungen in den Wärmeaustauschern sind weder bei den Calder-Hall-Typen noch bei den fortgeschrittenen gasgekühlten Reaktoren bis heute behoben. Deshalb arbeiten vor allem die Calder-Hall-Typen zur Zeit nur mit einer um 15 Prozent reduzierten Leistung.

Das Ende der Gas-Graphit-Reaktoren

Offenbar ist Großbritannien entschlossen, die Gas-Graphit-Reaktor-Linie zu verlassen – entweder zugunsten wassergekühlter Reaktoren oder solcher Gasreaktoren, bei denen Helium anstelle von Kohlensäure verwendet wird.

Die Hoffnung, daß die AGR-Typen eine nachhaltige Konkurrenz der Leichtwasserreaktoren werden könnten, hat also getrogen. Im Ausland sind die AGR von jeher weniger optimistisch betrachtet worden als in England. Deshalb konnte es den Engländern auch nicht gelingen, Exportaufträge unterzubringen. Das um so weniger, als die Leichtwasserreaktoren immer größer und wirtschaftlicher wurden. In neuester Zeit entschied sich England bis auf weiteres für den dampferzeugenden Schwerwasser-Reaktor (Steam Generating Heavy Water Reactor, SGHWR) als neuen

Typ. Einer davon ist seit 1968 in Großbritannien als Prototyp in Betrieb. Er soll sich gut bewährt haben.

Die Regierungsentscheidung zugunsten des SGHWR hat erregte Diskussionen ausgelöst. Weite Kreise der britischen Energiewirtschaft hätten für den noch nicht in wirklich großem Stil erprobten neuen Typ den amerikanischen Leichtwasserreaktor vorgezogen. Außerdem stellt sich die Frage, woher England die erforderliche Menge von Schwerem Wasser erhalten wird. Es scheint, als habe bei der Entscheidung für den SGHWR nicht zuletzt nationales Prestige eine Rolle gespielt.

Frankreich gibt den Bau der Graphittypen auf

Wie in England wurde auch in Frankreich und der Sowjetunion mit der Natururan-Graphit-Linie und Kohlensäurekühlung begonnen. In beiden Ländern mögen ebenfalls nationale Erwägungen zu dieser Wahl beigetragen haben. In Frankreich sind bis 1971 acht Reaktoren auf der Basis Natururan-Graphit-Kohlensäure in Betrieb genommen worden. Der letzte von ihnen hat eine Leistung von 540 Megawatt erreicht.

Doch auch in Frankreich hat die staatliche Atombehörde schließlich eingesehen, daß sie sich auf dem falschen Weg befand. 1970 wurde der Entschluß gefaßt, die eigene Entwicklung der Graphittypen aufzugeben und zu Leichtwasserreaktoren amerikanischer Bauart überzugehen.

In der Sowjetunion wurde die Natururanlinie von Anfang an modifiziert; an die Stelle der Kohlensäure trat Wasser als Kühlmittel. Hier war ja die Energieversorgung weniger wichtig als die Herstellung von Plutonium. Im Land sind schließlich ungenützte Wasserkräfte sowie Erdöl und Erdgas als reichliche Energiequellen vorhanden.

Nach einigen kleineren Prototypen wurden in neuerer Zeit sechs große Leichtwasser-Graphit-Reaktoren mit Leistungen von 1000 elektrischen Megawatt in Auftrag gegeben. Sie befinden sich noch im Bau. Die UdSSR hat sich jedoch von vornherein nicht so stark auf eine einzige Reaktorvariante festgelegt. Es gibt dort zum Beispiel auch Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktoren mittlerer

Leistung. Diese sind auch als Schiffsantrieb, etwa für den Eisbrecher »Lenin« und für U-Boote, eingebaut worden.

Nach dem augenblicklichen Stand der Technik haben sich also wenigstens in der westlichen Welt die Uran-Graphit-Reaktoren mit Gaskühlung wirtschaftlich überlebt. Der Kapitalaufwand ist zu groß, so daß sie gegenüber den Leichtwasserreaktoren nicht konkurrenzfähig sind. Wie diese haben sie den Nachteil der niedrigen Dampftemperatur und damit des niedrigen Nettowirkungsgrades. Zusätzlich erfordern sie aber wie alle Gasreaktoren eine große Pumpleistung zur Umwälzung des Kühlgases. Beim Magnox-Reaktor betrug sie bis zu 16 Prozent der elektrischen Bruttoleistung. Wenn England und Frankreich trotzdem für viele Milliarden ganze Serien bauten, ohne den endgültigen technischen Erfolg abzuwarten, so wurden eben militärische und politische Beweggründe höher bewertet als ökonomische und wirtschaftliche Ziele.

Sollte aber Graphit als Moderator wirklich interessant bleiben, müßten erst einmal die grundsätzlichen Mängel der bisherigen Konstruktionen behoben werden. Verwendete man z.B. angereichertes Uran statt Natururan, so könnte das Core wesentlich kleiner ausgelegt sein. Außerdem würde eine höhere Gastemperatur gebraucht, um den thermischen Wirkungsgrad zu verbessern.

Deshalb war Kohlensäure, die bei den graphitmoderierten Reaktoren als Kühlgas gedient hatte, durch Helium zu ersetzen. Als inertes Edelgas bietet Helium den Vorteil, daß es von keiner Strahlung zersetzt wird und auch bei erhöhter Temperatur nicht mit Graphit reagiert.

Arbeiten in dieser Richtung wurden unabhängig voneinander gegen Ende der fünfziger Jahre in Deutschland, England und den USA begonnen.

Die Ära der Hochtemperatur-Reaktoren

Schon 1956 trat Rudolf Schulten, Schüler von Werner Heisenberg und Mitarbeiter von Karl Wirtz, mit der zunächst überraschenden Idee eines Hochtemperaturreaktors (HTR) hervor. Dieser Plan fand sogleich Anklang und nahm schon im ersten Deutschen

Atomprogramm von 1958 einen wichtigen Platz ein. Leider gab es bei der Verwirklichung viele Hindernisse, so daß der Prototyp AVR erst 1966 kritisch wurde.

Der Grundgedanke liegt darin, daß die Brennelemente aus Graphitkugeln mit einem Durchmesser von sechs Zentimetern bestehen. Darin ist der Kernbrennstoff in Form von Urankarbid eingeschlossen. Die Kugeln befinden sich in einem Schacht aus keramischem Material und bilden das Core. Sie bewegen sich langsam von oben nach unten. Ausgebrannte Kugeln können unten entnommen, neue oben eingegeben werden. Als Kühlgas dient Helium, das den Kugelhaufen durchströmt. Der Reaktor wird kritisch, sobald genügend Kugeln eingefüllt sind. Im einfachsten Falle gibt das Helium seine Wärme in einem Austauscher an ein Dampfsystem ab, das die Turbine treibt. Später könnte man daran denken, das heiße Helium direkt einer Gasturbine zuzuführen.

Die Planungsarbeiten zu diesem recht überzeugenden Projekt übernahm die Firma Brown, Boveri & Cie. (BBC) unter Leitung von Rudolf Schulten. Später bildete sich ein Konsortium aus BBC und Krupp. Auftraggeber war die aus kommunalen Energieversorgungsunternehmen bestehende »Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor GmbH (AVR)« in Düsseldorf. Der Reaktor sollte auf dem Gelände der Kernforschungsanlage Jülich erbaut werden.

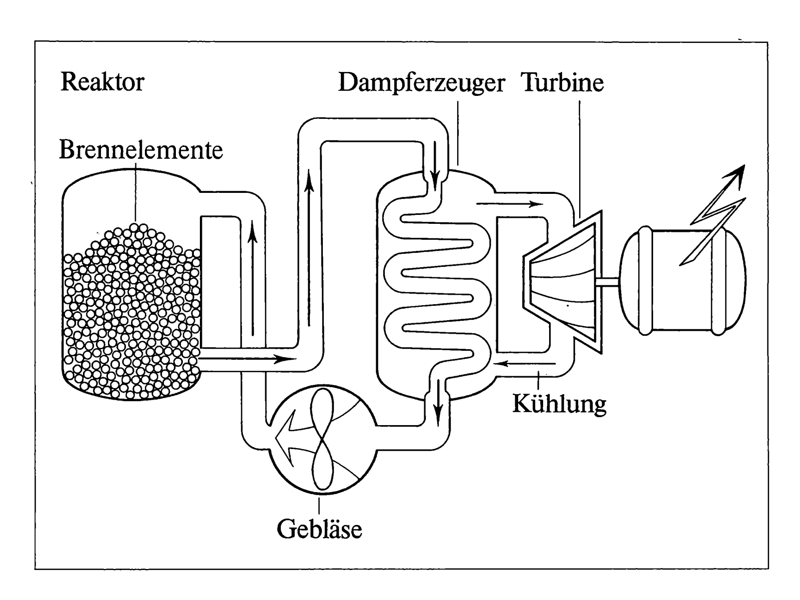
Bei der Ausarbeitung mußten viele Hürden überwunden werden. Es war zu erwarten, daß aus den Graphitkugeln radioaktive Spaltprodukte austreten und in den Kühlkreislauf gelangen würden. Dadurch konnte der gesamte Kreislauf einschließlich der Turbine kontaminiert werden. Zunächst war daran gedacht, diese nicht unbedenkliche Radioaktivität in Kauf zu nehmen oder die radioaktiven Spaltprodukte durch ein kompliziertes Absorptionsverfahren aus dem Kreislauf herauszunehmen.

Glücklicherweise wurde in den USA rechtzeitig die Erfindung der »coated particles« gemacht. Das sind beschichtete Brennstoffteilchen. Sie bestehen aus sphärischen Kernen von 0,2 bis 0,8 Millimeter Größe, auf denen in einem Wirbelbett durch Pyrolyse von Kohlenwasserstoffen eine mehrfache Schicht von Graphit nieder-

geschlagen wird. Diese Umhüllung verhindert den Austritt von Radioaktivität. Die ersten Kugeln dieser Art für den deutschen Reaktor wurden von den USA bezogen. Inzwischen unternahm die Nukem Arbeiten zur Herstellung der Graphitkugeln. Sie mußten stabil genug sein, um beim Durchlaufen des Schachtes nicht zu zerbrechen. Damit war die Grundforderung für den AVR-Reaktor erfüllt.

Nach vielen Auseinandersetzungen, bei denen es – wie immer – um die Bereitstellung staatlicher Mittel, aber auch um geschäftspolitische Differenzen in den Firmengruppen ging, wurde im Jahr 1961 mit dem Bau begonnen. Kritisch wurde der AVR-Reaktor 1966. Er leistet 13 Megawatt, die in einer Dampfturbine erzeugt werden. Die Heliumtemperatur betrug zunächst 850 °C.

Dieser Prototyp erfüllte von Anfang an alle Erwartungen. Selbstverständlich war seine Leistung für einen wirtschaftlichen Betrieb zu klein, aber er lief von Beginn an störungsfrei. Später, im Jahre 1974, wurde die Heliumtemperatur sogar schon auf 950 °C heraufgesetzt.



Kugelhaufenreaktor (THTR)

Auf Empfehlung der Deutschen Atomkommission beschlossen die Bundesregierung und das Land Nordrhein-Westfalen 1967, ein Prototyp-Kernkraftwerk von 300 Megawatt auf der Basis des Kugelhaufenreaktor-Konzeptes zu fördern. Über die Form, in der das geschehen sollte, und über die Finanzierung gab es wieder langwierige Diskussionen. Schließlich konnte 1972 in Uentrop im Ruhrgebiet mit dem Bau begonnen werden. Bauträger ist die Hochtemperatur-Kernkraft GmbH, deren Teilhaber mehrere Elektrizitätsgesellschaften sind. Krupp schied aus dem ursprünglichen Konsortium aus, so daß die BBC allein das Projekt übernahm.

Thorium streckt die Kernbrennstoffe

Dieser THTR (Thorium-Hochtemperaturreaktor) enthält im Erstcore 93prozentiges Uran 235 und das Element Thorium (anstelle von Uran 238) im Verhältnis 1:10. Als Konversionsprodukt entsteht Uran 233, das seinerseits ein Kernbrennstoff ist. Durch die Verwendung von Thorium, von dem es auf der Erde größere Lagerstätten gibt, können die natürlichen Vorräte an Kernbrennstoffen außerordentlich gestreckt werden.

Im übrigen basiert der Reaktor weitgehend auf den Erfahrungen, die in Jülich gewonnen worden sind. Erstmals wird ein Reaktordruckgefäß aus vorgespanntem Beton mit sechs Kühlkreisen verwendet. Die Dampferzeuger befinden sich in der Reaktorhülle, so daß lediglich heißer Dampf das Druckgefäß verläßt. Der THTR soll 1977 kritisch werden.

Gegenwärtig wird auch ein größerer Prototyp von 1000 Megawatt erwogen. Der jetzt im Bau befindliche 300-Megawatt-Reaktor wird 675000 Brennstoffkugeln, ein 1000-Megawatt-Reaktor jedoch 1,8 Millionen enthalten. Der Druck des Heliumgases liegt bei 40 bis 50 Atmosphären. In beiden Fällen soll die Helium-Auslaßtemperatur etwa 750 °C betragen.

Unabhängig von dieser deutschen Entwicklung entstand der »übernationale« Dragon-Reaktor. Zu den Staaten, die sich an ihm beteiligen, zählt auch Deutschland. Der Bau begann 1958 in Winfrith in England; kritisch wurde der Reaktor 1965. Auf die Erzeu-

gung von Elektrizität hatte man verzichtet; die thermische Leistung geht ungenützt in die Atmosphäre. Ziel war es allein, die Arbeitsfähigkeit des Systems zu erproben. Die Brennstoffelemente bestehen aus hochangereichertem Urankarbid, vermischt mit Thoriumkarbid in Form von 0,2 Millimeter dicken sphärischen Teilchen, die ähnlich wie beim AVR mit einer Kohlenstoffschicht überzogen sind. Diese coated particles sind ihrerseits in eine Graphitmasse eingebettet.

Der Dragon-Reaktor hat wertvolle wissenschaftliche und technische Erkenntnisse geliefert und hätte, ähnlich wie der AVR-Reaktor in Jülich, als Basis für eine weitere technische Entwicklung dienen können. Merkwürdigerweise haben jedoch die Engländer, die so große Erfahrungen mit der Gaskühlung hatten, bisher keine wesentlichen Anstrengungen auf dem Weg zum Hochtemperatur-Kernkraftwerk unternommen.

Brennelemente machen zu schaffen

Um so intensiver hat in den Vereinigten Staaten die General Atomic Company (GAC) diese Entwicklung gefördert. Hier sind die Brennelemente Säulen aus gepreßtem Graphit, in die der Brennstoff in Form von coated particles eingebettet ist.

1967 wurde in Peach Bottom bei Philadelphia ein Versuchsreaktor mit einer Leistung von 40 Megawatt in Betrieb genommen. Zunächst hatte man mit diesem Reaktor, vor allem mit den Brennelementen, Schwierigkeiten. Erst 1970 konnten sie beseitigt werden.

Ein Teil der Mißerfolge lag daran, daß die langen Graphitstäbe, in denen der Kernbrennstoff untergebracht ist, beim Aufheizen und Abkühlen Spannungen unterworfen sind und dadurch zerstört werden. Es bleibt abzuwarten, ob diese Anfälligkeit auf lange Sicht behoben werden kann. Die sehr viel kleineren Graphitkugeln der deutschen Konstruktion haben diesen Nachteil nicht.

Noch bevor der Reaktor in Peach Bottom störungsfrei arbeitete, begannen die Amerikaner 1968 bei Fort St. Vrain in der Gegend von Denver in Colorado Arbeiten an einem größeren Prototyp von

330 Megawatt Leistung. Für ihn war eine Austrittstemperatur des Kühlgases von 785 °C vorgesehen. Die 85 Zentimeter langen Graphiteinheiten der Brennelemente enthalten vertikale Kanäle für den Brennstoff Urandioxid, die Kontrollstäbe und den Durchtritt des Kühlmittels. Der Reaktor besitzt 1480 Brennelemente, von denen jedes fünf Jahre im Core bleiben soll.

Angesichts der hohen Kühlgastemperatur erhofft man sich einen Wirkungsgrad von etwa 39 Prozent – verglichen mit 33 Prozent bei einem Leichtwasserreaktor.

Noch ehe dieser Prototyp von Fort St. Vrain überhaupt in Betrieb kam, erhielt General Atomic schon Vorbestellungen auf mehrere Großanlagen mit Leistungen von rund 1100 Megawatt.

Während der vierten Atomkonferenz in Genf im Herbst 1971 erregte diese Mitteilung viel Aufsehen. Dort wurde sogar schon von Einheiten mit Leistungen von 2000 bis 3000 Megawatt gesprochen. Es schien so, als hätten die amerikanischen Elektrizitätsunternehmen großes Vertrauen in die Zukunft der Hochtemperaturreaktoren, und als wollten sie sofort zu großen Bestellungen übergehen.

Der Reaktor hält sein Versprechen nicht

Auf deutscher Seite war man damals zunächst sehr enttäuscht. Wieder einmal war das reiche und entschlußfreudige Amerika zuvorgekommen. In Deutschland lief der Bau des Prototyps für den Kugelhaufenreaktor erst 1972 an, zu einem Zeitpunkt also, zu dem der US-Typ schon in Betrieb gehen sollte. An der Verzögerung waren Standortprobleme und Uneinigkeiten zwischen den Lieferfirmen Krupp und BBC über Fragen der Finanzierung schuld. Prompt traf die BBC mit der General Atomic eine Vereinbarung, um die amerikanische Konstruktion auch in Deutschland bauen zu können.

Allerdings hat sich die anfängliche Hochstimmung in den USA inzwischen wieder etwas gelegt. Der Reaktor von Fort St. Vrain ist erst im Frühjahr 1974 betriebsfertig geworden und hat seither viele Störungen erlebt, so daß er bis Mitte 1975 nicht kritisch ge-

worden war. Weitere endgültige Bestellungen scheinen weder aus den USA noch aus Europa gekommen zu sein.

Gleichwohl ist ein Wettbewerb zwischen den beiden Konstruktionen wahrscheinlich. Entscheidend wird dann sein, ob der Graphitblock der amerikanischen Bauart – der in letzter Zeit von der Nukem durch einen monolithischen integrierten Graphitblock vereinfacht wurde – oder der Kugelhaufenreaktor größere Vorteile bietet.

Sollten eines Tages beide Reaktoren funktionsfähig sein, so werden Fragen der Wirtschaftlichkeit, besonders aber der Seriengröße den Ausschlag geben. Jedenfalls wird die deutsche Konstruktion einen schweren Stand haben, wenn sie nicht von der öffentlichen Hand wirksam gefördert wird. Ein Vorsprung der amerikanischen Linie liegt zur Zeit wohl darin, daß dort eine Wiederaufbereitungsanlage wenigstens im Versuchsausmaß zur Verfügung steht, während für die Aufbereitung der Kugeln erst einzelne Versuchsergebnisse vorliegen.

Der HTR hat die besseren Chancen

Ganz unabhängig von dieser augenblicklichen Konkurrenzsituation haben die Hochtemperaturreaktoren große Zukunftsaussichten. Entscheidend ist die höhere Temperatur des Kühlkreislaufes und die damit erzielte Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades. Jetzt steht wohl fest, daß Temperaturen von 1000 °C erreicht werden können. In einem Experiment mit dem UHTREX-Reaktor (ultra high temperature reactor experiment) in Los Alamos (USA) kam man zu Helium-Austrittstemperaturen von mehr als 1300 °C. – Eine wirtschaftliche Nutzung derart hoher Heliumtemperaturen ist aber erst möglich, wenn statt des sekundären Wasserkreislaufs mit Dampfturbine eine Heliumgasturbine im direkten Kreislauf verwendet wird. Solche direkten Gasturbinenzyklen versprechen einen Wirkungsgrad von 50 Prozent und mehr. Außerdem kommt man dadurch ganz vom Kühlwasser ab und kann die nicht nutzbare Abwärme über Trockenkühler an die Atmosphäre abgeben. Dadurch würden diese Reaktoren verhältnismäßig standortunabhängig.

Arbeiten zur Entwicklung großer Heliumgasturbinen sind in den USA und in der Bundesrepublik Deutschland aufgenommen worden. In Jülich soll nach und nach eine erste Demonstrationsanlage für eine Leistung von 300 Megawatt entwickelt werden (HHT – Helium-Hochtemperatur-Turbinenreaktor). Ein erster Schritt, der im wesentlichen der Erprobung von Materialien dient, ist Ende 1974 bei der Gutehoffnungshütte in Oberhausen erfolgt.

Dort wird Helium in einer ölbefeuerten 50-Megawatt-Kraftwerksanlage auf 750 °C erhitzt und damit eine Gasturbine betrieben. Eine wichtige Etappe ist ferner der Helium-Hochtemperatur-Versuchsstand (HHV) in Jülich, wo man bei Temperaturen von 850 bis 1000 °C und einem Druck von 50 atü einen geschlossenen Versuchskreislauf errichtet. Hier kann das Verhalten von Komponenten bei Leistungen bis zu 100 Megawatt untersucht werden.

Die Hochtemperaturreaktoren versprechen große Fortschritte gegenüber den Leichtwasserreaktoren. Sie besitzen einen höheren thermischen Wirkungsgrad und verursachen geringere Kühlwasserprobleme.

Ein besonderer Vorzug ist eben die Verwendungsmöglichkeit von Thorium, das durch Einfangen von Neutronen in Uran 233 umgewandelt und damit zu einem Kernbrennstoff wird. Reaktoren, die auf der Basis von U 233 arbeiten, ergeben eine höhere Ausbeute an sekundär erzeugtem Kernbrennstoff. Bisher ist es noch nicht gelungen, den Konversionsfaktor in die Nähe von 1 zu bringen, also einen Hochtemperaturreaktor in einen Brutreaktor zu verwandeln.

Eingeschränkte Gefahren

Sehr günstig ist ferner, daß im Core der Hochtemperaturreaktoren nur keramische Brennstoffe vorkommen. Hierdurch wird die Gefahr, daß das Core zusammenschmilzt, wesentlich vermindert. Außerdem schließt Helium als Kühlgas eine Brandgefahr aus und wird durch Neutronen nicht aktiviert. Da es sich überdies um ein Gas handelt, das unter den vorliegenden Bedingungen niemals verflüssigt werden kann, ist auch eine Kühlungsstörung durch ei-

nen Phasenübergang, etwa das Verdampfen des Kühlmittels, wie dies bei Leichtwasserreaktoren und bei dem natriumgekühlten Schnellen Brüter möglich wäre, ausgeschlossen.

Schließlich bleibt noch ein ganz besonderer Sicherheitsfaktor zu erwähnen: der Temperaturkoeffizient der Hochtemperaturreaktoren gestattet es, den Reaktor fast ohne zusätzliche Regelung zu fahren. Um dies zu demonstrieren, wurde beim AVR in Jülich der Kühlstrom künstlich unterbunden. Der Reaktor schaltete sich infolge der leichten Erhöhung seiner Temperatur automatisch ab. Für seine innere Struktur blieb die Situation ohne Gefahr. Der im Core vorhandene Graphit ist in der Lage, eine große Wärmemenge – und über eine gewisse Zeit auch die Nachwärme des Reaktors – ohne allzu starke Temperaturerhöhung aufzunehmen. Dadurch bleibt Zeit, eine Notkühlung in Gang zu bringen. Die gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren mit Graphitmoderator dürften deshalb zu den sichersten Reaktoren gehören.

Nukleare Prozeßwärme

Die in Kernreaktoren gewonnene Energie ist im allgemeinen zur Umwandlung in Dampf, elektrischen Strom oder Heizwärme bestimmt. Auch in Zukunft wird in Dampf- oder Gasturbinen hauptsächlich elektrischer Strom erzeugt werden. Dabei muß der geringe Wirkungsgrad der Turbinen in Kauf genommen werden. Wenn in der Nähe eines Kernkraftwerkes ein größerer Dampfbedarf besteht, wird man dem Reaktor unmittelbar Wasserdampf entnehmen. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß wegen der Wärmeverluste die Entfernung zum Verbrauchsort nicht viel mehr als fünf Kilometer beträgt.

Die hohe Kühlgastemperatur des HTR von 950° bis 1000°C hat frühzeitig nach direkten Verwendungsmöglichkeiten der Wärme suchen lassen. Fast alle Vorschläge laufen darauf hinaus, die im heißen Helium aus dem Reaktor anfallende Wärme in ihrem oberen Temperaturbereich von 700° bis 1000°C für eine chemische wärmeverbrauchende Reaktion heranzuziehen. Mit den Resttemperaturen unterhalb 700°C könnten dann Dampf oder elektrische Energie erzeugt werden.

Die überhaupt nutzbare Temperatur ist allerdings begrenzt. Zunächst muß man in einem Austauscher die Wärme vom heißen Helium auf ein anderes Trägermedium, etwa Wasserdampf, Wasserstoff, Methan oder auch ein Gasgemisch, übertragen. Nur so werden Heliumverluste und die Abgabe von Strahlung aus dem Reaktor vermieden. Mit Rücksicht auf das Material des Wärmeaustauschers wird die Temperatur nicht wesentlich über 1100 °C liegen dürfen. Bei einem Temperaturverlust von etwa 100 °C im Austauscher wird dann eine Temperatur von rund 1000 °C im Trägergas für die Prozeßwärme zur Verfügung stehen. Man kann also ein Fünftel bis ein Drittel der thermischen Leistung eines HTR-Reaktors für wärmeverbrauchende Prozesse verwenden.

Das größte Interesse konzentriert sich dabei auf die Vergasung von Braun- oder Steinkohle. Bisher wurde aus der Kohle durch partielle Verbrennung die Wärme erzeugt, die wiederum zur Vergasung von Kohle bei 800° oder 900 °C erforderlich ist. Es werden etwa 40 Prozent der Kohle zur Vergasung der übrigen 60 Prozent benötigt. Hier könnte die Anwendung von Kernenergie große Mengen des kostbaren Rohstoffs Kohle ersparen.

Der Bau solcher Anlagen böte bei dem heutigen Stand der Technik keine Schwierigkeiten. Zum Teil könnten bekannte Verfahren übernommen und entsprechend abgeändert werden. Man kann Braun- und Steinkohle mit Wasserstoff (H_2) bei Temperaturen zwischen 800 °C und 900 °C umsetzen. Dabei kommt es zu einem Gasgemisch aus Methan, Kohlenoxid, Wasserstoff und einigen flüchtigen Bestandteilen. Es bleibt allerdings ein Koksrückstand, für den Verwendung gefunden werden muß.

In Zukunft: synthetisches Erdgas

Ein solches Gasgemisch kann durch ein Rohrleitungsnetz als Brenngas an Haushalte oder industrielle Verbraucher abgegeben werden und eines Tages das Erdgas ersetzen.

Diese Gasbestandteile können ineinander umgewandelt werden, damit sie, je nach Wahl, für verschiedene chemische Prozesse zur Verfügung stehen. Folgende chemische Formeln entsprechen diesen Vorgängen:

$$
\begin{aligned}
&1)\quad C + 2H_2 \rightarrow CH_4\\
&2)\ CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2\\
&3)\ CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2\\
&4)\quad C + 2H_2O \rightarrow 2H_2 + CO_2
\end{aligned}
$$

Es ist auch daran zu denken, die Kohle mit Wasserdampf zu vergasen. Dieses Verfahren verursacht aber mehr Schwierigkeiten, weil dann der größte Teil des Wärmebedarfs unmittelbar auf die Kohle übertragen werden muß. Als Vergasungsprodukte entstehen dieselben flüchtigen Bestandteile, die nach den Reaktionsgleichungen 1 bis 3 ineinander umgewandelt werden können. Solche Gase sind als Ausgangsprodukt für eine Anzahl wichtiger chemischer Prozesse vielseitig verwendbar, beispielsweise für die Herstellung von Ammoniak (NH_3), einem Hauptbestandteil der synthetischen Düngemittel. Außerdem kann das Gas zur Herstellung von Methanol (CH_3OH) und anderen sauerstoffhaltigen Produkten dienen.

Das interessanteste Produkt der Kohlevergasung ist der Wasserstoff. Bisher läßt er sich technisch nur auf der Basis fossiler Brennstoffe wirtschaftlich herstellen. Dabei aber wird, wie die Gleichung 3 zeigt, ein Teil des fossilen Kohlenstoffs – mit dem möglichst sparsam umgegangen werden muß – in Kohlendioxid (CO_2) verwandelt, das nutzlos in die Atmosphäre geht. Bekanntlich spielt Kohlensäure zwar für das Wachstum der Pflanzen eine fundamentale Rolle. Aber auch hier laufen bakterielle und enzymatische Reaktionen nicht ohne Mitwirkung des reduzierenden Wasserstoffs ab. Ihn erzeugt die Biosphäre auf Umwegen aus Wasser.

Dieses so kunstvolle Wechselspiel, auf dem das irdische Leben beruht, beherrschen wir zur Zeit ebensowenig wie die Assimilation des Stickstoffs aus der Atmosphäre, wozu nur wenige Pflanzenarten imstande sind. Dies ist ein bedeutendes Arbeitsgebiet der Mikrobiologen, die uns eines Tages helfen sollen, den weltweiten Eiweißmangel zu beheben. Man ist jetzt allerdings technisch in der Lage, mit bakterieller Hilfe Kohlenwasserstoffe aus Erdöl, Methanol und anderen Naturstoffen in genießbares Eiweiß umzu-

wandeln. Ausgangspunkte sind aber auch dabei immer noch Kohlenstoff aus fossilem Rohstoff sowie Stickstoff, der aus denselben fossilen Rohstoffen erzeugt werden muß.

Wasserstoff aus Wasser?

Die größte Hoffnung bleibt die Gewinnung von Wasserstoff aus dem Wasser, das in praktisch unbegrenzten Mengen vorhanden ist. Dieses Ziel rückt näher, sobald man mit der Prozeßwärme des Hochtemperaturreaktors erst einmal Energie auf hohem Temperaturniveau erhält.

Wasserstoff wird seit langem überall da, wo elektrische Energie billig zur Verfügung steht, beispielsweise in Norwegen und neuerdings auch am Assuandamm in Ägypten, durch Elektrolyse von Wasser hergestellt. Ist keine Wasserkraft vorhanden, ist es kaum ein Verfahren der Zukunft, weil es wiederum die kostspielige Erzeugung elektrischen Stromes mit ihrem schlechten Wirkungsgrad voraussetzt. Es gibt zwar Ansätze, die Wasserelektrolyse bei hohen Temperaturen an neuartigen Elektroden durchzuführen. Diese Arbeiten stecken aber erst in den Anfängen.

Besonders naheliegend und wirkungsvoll wäre die thermische Spaltung von Wasser in seine Elemente Wasserstoff und Sauerstoff. Diese Reaktion erfordert einen hohen Energieeinsatz, der später bei der Verwendung des Wasserstoffs wiedergewonnen werden kann. Aber außerdem ist eine hohe Temperatur notwendig. Bei etwa 2000 °C erhält man erst ein Prozent Wasserstoff im Gasgemisch. Solche und höhere Temperaturen sind mit bisherigen Mitteln kaum zu erzeugen.

Daher sucht man nach chemischen Zwischenreaktionen, mit denen die Spaltung stufenweise bei niedrigeren Temperaturen erreicht werden kann. Alle diese Bemühungen führten bisher aber noch zu keinem technisch verwendbaren Verfahren. Immer muß man dabei große Mengen von Feststoffen bewegen. Das ist innerhalb einer Anlage sehr schwierig. Außerdem bringen die Prozesse keine hundertprozentige Ausbeute.

Nutzen und Gefahren des Wasserstoffs

Auf die Verwendungsmöglichkeiten des Wasserstoffs darf man große Hoffnungen setzen. Beispielsweise wird daran gedacht, ihn als Transportmittel für Energie zu verwenden. Wasserstoff kann in hochkomprimierter Form, ähnlich wie Erdgas, durch Rohrleitungen über weite Strecken gepumpt werden. Er hat aber gegenüber Erdgas einen viel höheren Wärmegehalt bei gleichem Volumen. Wasserstoff läßt sich auch verflüssigen und in dieser Form transportieren.

Wasserstoff als Transportmittel für Energie könnte sehr wohl eines Tages z. B. mit den Überlandleitungen für Strom in Wettbewerb treten, die über größere Strecken ohnehin ihre Grenzen haben. Eine Schwierigkeit beim Umgang mit Wasserstoff liegt allerdings in seiner leichten Brennbarkeit und in der Explosionsgefahr, wenn auch nur geringe Mengen Luft und Sauerstoff hinzutreten. Große Rohrleitungen, die unter hohem Wasserstoffdruck stehen, sind ebenso gefährlich wie Wasserstoffbehälter. Dies wird heute bei einschlägigen Plänen oft unterschätzt. Vielleicht aber können auch diese Probleme eines Tages gelöst werden.

Eine interessante Anwendung von Wasserstoff liegt in der Direktreduktion des Eisenerzes unter Umgehung des Hochofens, der ja Koks verbraucht.

$$Fe_2O_3 + 3\,H_2 \rightarrow 2\,Fe + 3\,H_2O$$

An dem Problem, wie die Wärme aus Hochtemperaturreaktoren für chemische Zwecke verwendet werden könnte, wird an vielen Stellen der Erde intensiv gearbeitet. In Deutschland geschieht das in der Kernforschungsanlage Jülich, deren Leiter jetzt Karl-Heinz Beckurts ist. In Jülich hat man ja auch die meisten Erfahrungen mit Hochtemperaturreaktoren. Die Forschungsanlage liegt außerdem mitten im rheinischen Braunkohlengebiet, wo der Bedarf an Prozeßwärme einmal besonders groß sein wird.

Darüber hinaus beschäftigen die Bergbau-Forschung GmbH, Essen, und viele an Kohleförderung sowie an Kohlechemie interessierte Industriegruppen sich mit derlei Fragen. Mit finanzieller

Unterstützung der Bundesregierung sind einschlägige Versuchsanlagen im Aufbau.

Ein interessantes Teilexperiment läuft in der Kernforschungsanlage Jülich unter der Bezeichnung EVA (Einzelspaltrohr-Versuchs-Anlage). Man setzt dort Methan mit Wasserdampf um:

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$$

Die Wärme, die zur Aufheizung der Ausgangsgase und zur Bereitung der Reaktionswärme notwendig ist, erzeugt man zur Zeit aus nichtnuklearer Energie; später soll dazu das aus dem HTR kommende, 950 °C heiße Helium dienen. Das so erhaltene Gasgemisch ($CO + H_2$) ist ein wichtiges Ausgangsmaterial, etwa für die Herstellung von Methanol:

$$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$$

Zu EVA kommt ADAM

Es ist auch daran gedacht, der EVA als Gegenstück die Anlage ADAM beizugeben. Man stellt sich vor, das Gasgemisch $CO + H_2$ über weite Entfernungen in Rohrleitungen dahin zu leiten, wo Wärmeverbraucher sind, beispielsweise zu Siedlungen. Dort soll die Reaktion dann in umgekehrter Richtung verlaufen, wobei sie Wärme liefert. Die Umkehrung

$$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O \text{ (ADAM)}$$

verläuft exotherm und ergibt Wärme, die an Ort und Stelle genutzt werden kann. Anschließend will man das Gemisch von Methan und Wasserdampf zum Hochtemperaturreaktor zurückführen.

Mehrere interessierte Firmen aus dem Bereich Kohle, Stahl, Chemie und Reaktorbau haben sich durch Vermittlung und mit Unterstützung der Regierung des Landes Nordrhein-Westfalen zu einer »Arbeitsgemeinschaft Nukleare Prozeßwärme« (ANP) zu-

sammengeschlossen, um die in Jülich und an anderen Stellen laufenden Versuchsarbeiten zu fördern.

Die ANP hat sich die vorher beschriebenen Ideen zu eigen gemacht und prüft die Verwirklichungsmöglichkeiten von Anlagen, in denen der Kernreaktor, Vergasungsapparaturen und Dampferzeugung sowie die Abwicklung anderer chemischer Prozesse vereinigt sind. Nach einem Studium der wirtschaftlichen und technischen Aussichten und Probleme, die dabei zu bewältigen sind, wird man den Plan für eine Anlage vorlegen, die aus Mitteln der Partner und des Staates errichtet und betrieben werden soll. Schon hierbei geht es, auch wenn es sich erst um eine Versuchs- oder Demonstrationsanlage handelt, um ein Projekt, das einige Milliarden Mark kosten wird.

Am Horizont zeichnen sich Perspektiven ab, nach denen der Hochtemperaturreaktor sich zum Mittelpunkt großer industrieller Ballungszentren entwickelt. Die Stadt Hamburg hat ein solches Projekt vorgelegt. Da der Reaktor selbst nur in großen Dimensionen wirtschaftlich ist, wachsen auch die Anlagen, die seine Abwärme nutzen sollen, ins Gigantische. Sollte ein solcher Hochtemperaturreaktor einmal, wie seine Förderer es sich vorstellen, zu Kapazitäten von 3000 Megawatt anwachsen, dann könnte man damit etwa 2200 Tonnen Braunkohle pro Stunde, entsprechend einer Jahresmenge von 16 bis 18 Millionen Tonnen, vergasen. Selbst für die Verarbeitung von Rohbraunkohle, die in großen Mengen vor sich zu gehen pflegt, ist das eine gewaltige Kapazität.

Für chemische Prozesse käme man dabei zu Ausmaßen, die überhaupt nicht diskutabel sind. So könnte man mit der Prozeßwärme ein und desselben Reaktors in einer Ammoniaksynthese jährlich 3,5 Millionen Tonnen Ammoniak an einem einzigen Platz produzieren. In der ganzen Bundesrepublik werden derzeit aber nur 2,5 Millionen Tonnen hergestellt.

In solchen Überlegungen weitet die Kernenergie sich zu einem Wirtschaftsgebiet aus, das über die Probleme der Energieerzeugung weit hinausgeht. Auf dem langen Weg zur technischen Verwirklichung solcher Pläne sind noch zahllose Schwierigkeiten zu überwinden. Viele der technischen Prozesse, die leichter aufzuschreiben als zu realisieren sind, müssen erarbeitet werden. Vor

allem aber sind es Materialfragen, die bei den konstruktiven Aufgaben, insbesondere für Gaskreisläufe unter hohen Temperaturen, immer wieder neue Hürden ins Gelände stellen.

Es wird noch viele Jahre dauern, bis solche Ideen großtechnisch realisiert sein werden. Aber gerade die Weiträumigkeit der Vorstellungen macht diesen Hochtemperaturreaktor auf der Basis von Graphit als Moderator und Helium als Kühlmittel zu einem so aussichtsreichen und erstrebenswerten Ziel.

Kapitel 13
Kernfusion – eine Alternative?

Nur einem Atomreaktor ist es zu verdanken, daß der Mensch auf der Erde existiert. Sonst wäre der Planet eine Wüstenei ohne Leben. Das »Kernkraftwerk«, das hier überhaupt erst das Entstehen jeglicher Lebewesen – von der Amöbe bis zum Homo sapiens – ermöglichte, kennt jeder: die Sonne.

Die Sonne ist im Grunde ein riesiger Kernreaktor. Die ungeheuren Energiemengen, die sie unablässig erzeugt und als Strahlung in den Weltraum und damit auch auf die Erde schickt, stammt aus kernphysikalischen Vorgängen. Dabei handelt es sich nicht um Kernspaltungen, wie sie heute die Grundlage der Energiegewinnung aus Atomkraftwerken bilden. An Stelle der Kernspaltung spielt sich vielmehr in der Sonne – und in den vielen anderen Fixsternen, die am Firmament leuchten – etwas anderes ab: die Kernfusion.

Wie die Sonne Energie erzeugt, war lange Zeit ein Rätsel. Der berühmte Physiker Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, auch Anatom und Physiologe, der im letzten Viertel des vergangenen Jahrhunderts an der Universität von Berlin lehrte, versuchte als erster eine wissenschaftliche Erklärung. Er meinte 1853, Energiequelle sei die Schwerkraft. Sie bewirke, daß sich die Sonnenmaterie zusammenzöge, dichter und dichter werde und dabei Energie abgäbe.

Diese These entsprach dem damaligen Stand der Wissenschaft. Schließlich geschah die Entdeckung der Radioaktivität durch Antoine Henri Becquerel und mit ihr der erste Schritt in das Zeitalter der Atomphysik erst 1896, also zwei Jahre nach dem Tode von Helmholtz.

Schon weitere drei Jahre später, nämlich 1899, erkannte der

amerikanische Geologe Thomas C. Chamberlin die Bedeutung, die Becquerels Entdeckung auch für die Erforschung der Sonnenstrahlung haben könnte. Er äußerte sich damals: »Die Theorie von Helmholtz berücksichtigt nicht die latenten und eingeschlossenen Energien atomarer und ultra-atomarer Natur.«

Schritt für Schritt tastete sich die Wissenschaft an das Problem der Sonnenenergie heran. Der Lösung recht nahe kam 1920 der englische Astronom und Physiker Sir Arthur Eddington. Er stellte die Theorie auf, die Energie der strahlenden Fixsterne und der Sonne werde bei der Bildung von Helium aus Wasserstoff freigesetzt. Ähnliche Vorstellungen entwickelte der Franzose Jean-Baptiste Perrin. Er war der Überzeugung, der Aufbau komplexer Atome aus den einfachen Bausteinen Protonen und Elektronen liefere die Energie.

Die richtige Erkenntnis kam 1929 aus Deutschland, und zwar von Geoffrey S. Atkinson und Fritz G. Houtermans. Sie erwogen, daß die stellare Energie das Resultat sogenannter thermonuklearer Reaktionen sein könnte, also das Resultat von Kernverschmelzungen bei extrem hohen Temperaturen zwischen 15 und 30 Millionen Grad, wie sie im Sonneninnern herrschen.

Unabhängig voneinander stellten am Ende der dreißiger Jahre Carl Friedrich von Weizsäcker, Deutschland, und der 1933 in die USA emigrierte Hans Albrecht Bethe die Reaktionsgleichungen auf, nach denen sich über mehrere Zwischenstufen die Umwandlung von vier Wasserstoffkernen, also von Protonen, zu einem Heliumkern vollzieht. Damit waren die physikalischen Grundlagen der Energiegewinnung durch die Kernverschmelzung gegeben.

Die Atomkernverschmelzung

Es war bekannt, daß hinsichtlich ihres Energieinhaltes zwischen den leichten Atomkernen wie dem Wasserstoff und dem Helium sowie den schweren Atomkernen wie dem Uran und dem Plutonium ein grundsätzlicher Unterschied besteht.

Bei den schweren Atomkernen wird dadurch Energie frei, daß sie in kleinere Bruchstücke gespalten werden. Darauf beruht der

heutige Atomreaktor. Bei den leichten Kernen aber wird Energie dadurch frei, daß sie zu schwereren Kernen verschmelzen. Dieser Prozeß liegt der Energiegewinnung durch Kernfusion zugrunde. Die Verschmelzung der Atomkerne erfolgt freilich unter extremen physikalischen Bedingungen, bei Temperaturen, wie sie nur in den Sternen und bei der Explosion der Wasserstoffbomben vorkommen.

Dort liegen die Schwierigkeiten, denen sich die Technik gegenübersieht: Materie muß auf derart hohe Temperaturen gebracht und in einem Reaktionsraum zusammengehalten werden. Da ganz allgemein bei der Verschmelzung leichter Kerne zu schwereren Energie frei wird, kommt eine Vielzahl von Kernen als »Brennstoff« in Frage. Da aber das technische Problem in der Herstellung und Handhabung der extrem hohen Temperatur liegt, wird man solche Kerne bevorzugen, deren Verschmelzung schon bei relativ geringen Temperaturen erfolgt.

Hier erweisen sich Deuterium und Tritium, die beiden schweren Isotope des Wasserstoffs, als die günstigsten Reaktionspartner. Ihre Verschmelzung erfordert Temperaturen von etwa 50 Millionen Grad, immerhin niedriger als bei anderen möglichen Kernen. Der eine Reaktionspartner, das Deuterium, ist zu einem kleinen Anteil, etwa ein Sechstausendstel, im Wasserstoff des gewöhnlichen Wassers enthalten und kann daher in praktisch unbegrenzter Menge aus den Weltmeeren gewonnen werden. Der andere Partner, das Tritium, kommt in der Natur nicht vor, da der Kern instabil ist und mit einer Halbwertszeit vom 12,4 Jahren durch Weiterzerfall in Helium der Masse 3 übergeht. Tritium kann aber dadurch künstlich erzeugt werden, daß Lithium mit Neutronen beschossen wird.

Auf diese Weise wurde das für den Bau von Wasserstoffbomben benötigte Tritium gewonnen. Bei der Verschmelzung von Deuterium, das die Masse 2 hat, und Tritium mit der Masse 3 entstehen ein Heliumatom der Masse 4 und ein Neutron mit der Masse 1, die mit großer Energie auseinanderfliegen. Diese Bewegungsenergie wird letzten Endes in Wärme zur Energieerzeugung umgesetzt. Das Neutron kann benutzt werden, um durch Reaktion mit Lithium neues Tritium zu erbrüten. Aus diesem Grund werden wohl

die ersten Kernfusionsreaktionskammern mit einem Lithiummantel umgeben sein. Freilich wird dadurch das Lithium verbraucht.

Das in der Natur vorkommende Lithium enthält 2 Isotopen, Lithium 7 mit 92,5% und Lithium 6 mit 7,5%. Als die Amerikaner die Wasserstoffbomben entwickelten und in großer Zahl herstellten, wurde die Erzeugung von metallischem Lithium, das bis zu diesem Zeitpunkt nur im Ausmaß von wenigen Tonnen als Legierungsbestandteil benötigt wurde, erheblich erhöht. Die Welterzeugung liegt jetzt bei mehr als 30000 Jahrestonnen. Aus Gründen der Neutronenökonomie bevorzugt man für die Wasserstoffbombe Lithium 6. Es nimmt ein Neutron auf und zerfällt dann in Helium mit der Masse 4 und Tritium mit der Masse 3. Der große Verbrauch von Lithium 6 für militärische Zwecke führte dazu, daß auf dem Weltmarkt Lithiumsalze angeboten wurden, deren Gehalt an Lithium 6 nur noch ca. 40–45% des natürlichen Anteils entspricht. Wissenschaftler versuchten, aus dieser Differenz die Menge zu errechnen, die für die Wasserstoffbombe eingesetzt worden war. Die wirkliche Lithiumproduktion ist deshalb immer noch unsicher.

Die Lithiumvorräte der Welt sind zwar sehr umfangreich, etwa so groß wie die von Uran und Thorium zusammengenommen, aber eben doch absehbar. Der aus der Reaktion von Deuterium mit Tritium mögliche Energiegewinn ist also begrenzt durch die Lithiumvorräte der Erde.

Eines fernen Tages wird man auf die anderen möglichen Fusionsreaktionen zurückgreifen müssen, etwa Deuterium mit Deuterium oder Deuterium mit dem Heliumisotop der Masse 3. Diese Reaktionen würden allerdings die Herstellung und Handhabung von noch höheren Temperaturen erfordern. Die Herstellung und Handhabung der extremen Temperatur ist aber schon für die Reaktion von Deuterium mit Tritium außerordentlich schwierig und stellt das eigentliche technische Problem bei der Kernfusion dar.

In der Wasserstoffbombe, wie sie zuerst von Teller entwickelt wurde und die 1952 bei ihrem ersten Einsatz eine kleine Insel im Pazifischen Ozean zum Verschwinden brachte, wurde diese hohe

Temperatur durch eine einfache Atombombe ausgelöst. Eine Kernspaltungsbombe diente als Zünder für die Wasserstoffbombe.

Als die Physiker Anfang der fünfziger Jahre darangingen, diesen Verschmelzungsvorgang zur friedlichen Energieerzeugung zu untersuchen, standen sie vor einer doppelten Aufgabe. Es galt eine Konstruktion zu finden, in der man die zu verschmelzende Materie, also das Deuterium und Tritium, auf die erforderliche Temperatur erhitzen konnte, ohne dafür eine Zündung durch Atombomben zu benötigen. Ferner ist die dann einsetzende Kernfusion in ihrer Geschwindigkeit so einzudämmen, daß sie nicht zur Explosion führt, sondern mit gleichmäßig verlaufender Geschwindigkeit die sehr großen Energiemengen an die Umgebung abgibt.

Das Plasma

Aus den Bemühungen um die Lösung dieses Problems entstand die »Hochtemperatur-Plasmaphysik«.

Das Gemisch aus den sehr hoch erhitzten Atomkernen – z. B. Deuterium (D) – mit den aus den ursprünglichen Atomen freigesetzten Elektronen nennt man »Plasma«. Viele Physiker sehen ein solches Plasma als einen vierten Zustand der Materie an, den sie neben die geläufigen Formen »fest, flüssig und gasförmig« stellen.

Das Studium dieser Plasmaphysik ist ein neues Wissenschaftsgebiet geworden, auf dem sich mit großem Einsatz viele Länder betätigen. Neben den USA und der Sowjetunion befassen sich alle europäischen Industrienationen damit. In der Bundesrepublik Deutschland wurde im Jahre 1960 das Institut für Plasmaphysik (IPP) gegründet, das zunächst eine selbständige Organisation war, heute aber der Max-Planck-Gesellschaft angeschlossen ist.

Nach seiner Gründungsurkunde ist die Aufgabe des IPP »die Durchführung von Forschungen auf dem Gebiet der Plasmaphysik und den angrenzenden Gebieten sowie die Entwicklung der für die einschlägige Forschung erforderlichen Methoden und Hilfsmittel«.

Auch im Fall des IPP – ähnlich wie beim Bau des FR-2-Reaktors

– ging die Gründungsinitiative vom Max-Planck-Institut für Physik und seinem Leiter Werner Heisenberg aus.

Die Basis war eine grundsätzliche Entscheidung der Atomkommission und des Bundesministers für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft vom Oktober 1959. Anders als im Kernforschungszentrum Karlsruhe wurde die Leitung des IPP in die Hände eines kollegialen Organs gelegt, dem nur Wissenschaftler angehören. Die Geschäftsführung hat im wesentlichen nur exekutive Funktionen und ist der wissenschaftlichen Leitung unterstellt.

Bei seiner Gründung besaß das IPP vierzig Mitarbeiter, heute sind es weit über tausend. Auch in den Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich werden Untersuchungen zur Kernfusion durchgeführt. Die deutschen Forscher stehen in engem Gedankenaustausch mit nahezu allen einschlägigen Institutionen in der Welt. Weil das Problem so schwierig ist und die Lösung der Aufgabe noch so fern liegt, besteht eine besonders intensive internationale Zusammenarbeit.

Die TOKAMAK-Maschine

Da keine Werkstoffe existieren, die den hohen Plasmatemperaturen trotzen können, muß das Plasma durch magnetische Felder zusammen- und von der Gefäßwand ferngehalten werden. Es gibt eine Reihe von Vorschlägen für derartige »Maschinen«. Hier sei nur eine besonders erfolgreiche Variante, die sogenannte TOKAMAK-Maschine, kurz skizziert.

In einer ringförmig geschlossenen Röhre wird mit einer Spule ein ebenfalls ringförmiges Magnetfeld erzeugt, durch dessen Wirkung das Plasma zur Ringachse hin zusammengedrückt wird. Mit einem weiteren Magnetfeld, dessen Feldlinien in Richtung der Spulenachse verlaufen, wird im Plasma ein aufheizender Strom erzeugt. Das im Magnetfeld schwebende Plasma muß eine genügende Zeit auf der hohen Temperatur gehalten werden. Ist das Plasma dicht, befindet sich also eine große Teilchenzahl in jedem Kubikzentimeter, so sind nur sehr kurze Zeiten erforderlich. Verdünnt sich das Plasma auf etwa 10^{14} bis 10^{15} Teilchen pro Kubikzentimeter, so müßte die Brenndauer mindestens eine Sekunde betragen.

Dieser Zusammenhang wird durch das sogenannte Lawson-Kriterium geregelt, das der englische Physiker J. D. Lawson aufgestellt hat. Danach muß das Produkt aus Teilchendichte und Brennzeit etwa 10^{14} Sekunden pro Kubikzentimeter ausmachen, um mit einem thermischen Wirkungsgrad von dreißig Prozent aus einem Fusionsreaktor mit einer positiven Energiebilanz Strom zu entziehen. In der TOKAMAK-Maschine ergäbe sich eine solche Teilchendichte von etwa 10^{14} je Kubikzentimeter. Die Brenndauer sollte deshalb mindestens eine Sekunde betragen. Der Fusionsvorgang würde dann pulsierend wiederholt.

Zu den technologischen Problemen eines solchen Fusionsreaktors zählt vor allem die wirtschaftliche Erzeugung sehr starker Magnetfelder mit großem Umfang. Ferner ist die Entwicklung der zugehörigen Werkstoffe nötig, die sowohl Energie als auch Neutronenbestrahlung aushalten. Die gegenwärtige Technik ist davon noch weit entfernt.

Um große Magnetfelder zu erzeugen, kämen Magnete mit supraleitenden Spulen in Frage. Ein Supraleiter arbeitet bei extrem tiefen Temperaturen, bei denen der elektrische Widerstand der Metalle verschwindet. Die dafür erforderliche Kühlung muß mit flüssigem Helium geschehen. Die notwendigen Feldstärken werden auf 50000 bis 150000 Gauss geschätzt. Ungeheure Kräfte wirken also auf die Bauteile der Magneten ein.

Als Beispiel dazu möge ein Entwurfskonzept für einen vollständigen Fusionsleistungsreaktor nach dem TOKAMAK-Prinzip dienen. Die Plasmatemperaturen werden auf etwa 140 Millionen Grad geschätzt. Das Plasma ist umgeben von einer Lithiumhülle mit einer Temperatur von 1000 Grad Celsius. Diese Hülle absorbiert etwa 99 Prozent der Fusionsenergie, die vom Plasma freigesetzt wird.

Die Energie der D + T-Reaktion verteilt sich auf Neutronen mit 14,3 MeV und Alphateilchen mit etwa 3,7 MeV (Mega-Elektronenvolt = 1 Million Elektronenvolt). Die Bremsenergie der Neutronen wandelt sich in der Lithiumhülle in Wärme um, während die Energie der Alphateilchen von einer Wand »geschluckt« wird, die das Lithium vom Plasma trennt.

Diese Wand erleidet außerdem starke Strahlenschäden durch die sie durchdringenden Neutronen. Sie ist deshalb die kritischste

Stelle in diesem Reaktortyp. Man kann dafür Edelstahl als Material verwenden. Er wird aber oberhalb von 500 °C verhältnismäßig rasch im Strahlungsfeld zerstört. Brauchbarer scheint jedoch Niob zu sein, das sich bis zu Temperaturen von 1000 °C als verträglich mit Lithium erwiesen hat.

Besondere Schwierigkeiten bereitet die Herstellung des Magnetfeldes durch die supraleitenden Spulen. Obwohl die Lithiumhülle ja mehr als 99 Prozent der Neutronenenergie absorbiert, würden die restlichen Neutronen, die durch die Lithiumhülle dringen, das flüssige Helium immer noch viel zu hoch aufheizen. Um ein Kilowatt Wärme bei Heliumtemperaturen zu »entfernen«, wäre eine Kältemaschine mit einer Leistung von 500 Kilowatt erforderlich.

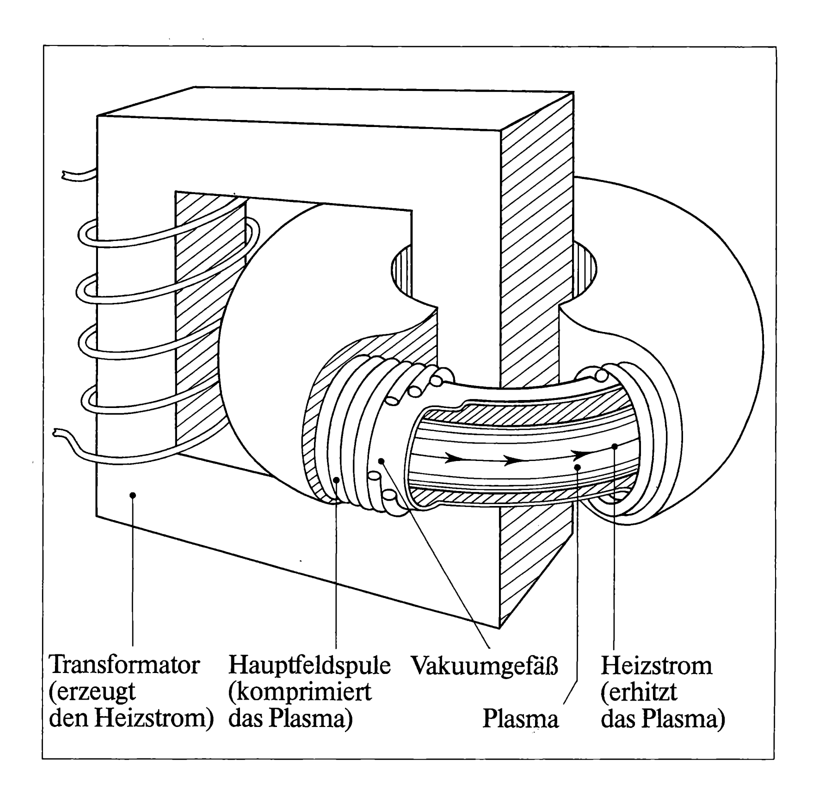
Deshalb muß der verbleibende Neutronenfluß noch weiter abgeschwächt werden. Dies geschieht, indem zwischen Magnet und Lithiumhülle noch eine mindestens ein Meter dicke, neutronenabsorbierende Schicht gelegt wird. Sie könnte aus Graphit, Aluminium oder einem ähnlichen Material bestehen. Erst dann kommen die gewaltigen Spulen der Magnete. Allein der notwendige Durchmesser der Plasmaregion eines Fusionsreaktors von etwa 1000 Megawatt wird auf etwa fünf Meter geschätzt. Rechnet man Lithiumhülle und Magnetabschirmung hinzu, ergibt sich eine ungefähre Vorstellung von den riesigen Dimensionen einer solchen Anlage.

Enorme Abmessungen müssen auch die Magnetspulen besitzen, deren »Bohrung« etwa zehn Meter groß sein dürfte. Die Energie, die im magnetischen Feld gespeichert ist, würde etwa 35 000 Megajoule erreichen. Die auf die Magneten wirkenden Kräfte gehen in die Zehntausende von Tonnen pro Spule.

Sicher wird es möglich sein, in absehbarer Zeit experimentelle Maschinen zu bauen, in denen das Lawson-Kriterium erfüllt ist. Aber die eben erwähnten Größenordnungen eines Fusionsreaktorkraftwerks berechtigen zu dem Schluß, daß diese Art der Stromerzeugung noch weit in der Zukunft liegt. In unserem Jahrhundert wird sie wahrscheinlich nicht mehr gelingen.

Auch in einem solchen Fusionsreaktor ist das Problem der Sicherheit nicht ganz leicht zu lösen.

Der uneingeschränkte Vorteil in bezug auf Sicherheit liegt darin, daß sich bei Kernverschmelzungen keine radioaktiven Spaltprodukte bilden. Helium ist in diesem Sinne vollständig inaktiv. Auch kann es in dem Fusionsreaktor keine unkontrollierten Exkursionen, also Leistungssteigerungen geben. Jede nicht kontrollierte Druck- und Temperaturerhöhung führt zur Zerstörung oder Abschwächung des Plasmazustandes und damit zu einer Herabsetzung der Reaktion. Ebenso dürfte das Problem der Nachwärme, das bei den Spaltungsreaktoren so gravierend ist, hier wegen der geringen Radioaktivität verschwindend klein sein.



Schema der TOKAMAK-Maschine

Eine Gefahr bedeutet das innerhalb des Prozesses auftretende Tritium, das sich durch die Anwesenheit des Lithiums anreichert. Tritium ist ein β-Strahler, und seine Strahlung hat kein sehr starkes Durchdringungsvermögen, so daß die Umgebung leicht abgeschirmt werden kann. Aber Wasserstoff und seine Isotopen haben insbesondere bei den hohen Temperaturen ein sehr großes Diffusionsvermögen. Da in großen Apparaturen mehrere Kilogramm Tritium vorhanden sind, muß sehr darauf geachtet werden, daß keine Undichtigkeiten und Verluste durch Leckage entstehen.

Laser

In jüngster Zeit wurde vorgeschlagen, die große Energiekonzentration, die ein moderner Laser ermöglicht, zur Erzeugung von Fusionsprozessen in sehr kleinen Volumina mit Mischungen leichter Elemente, also z. B. von Deuterium (D) und Tritium (T), zu verwenden.

Der erste Laser wurde 1960 von Th. H. Maiman gebaut. Das Wort Laser ist die Abkürzung des amerikanischen Ausdrucks »Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation« (Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlungsemission). Ein Laser ist ein optischer Oszillator, der eine streng kohärente monochromatische Lichtwelle erzeugt. Im Lasermaterial wird durch besondere Vorgänge optische Energie gespeichert, die durch induzierte Emission aller energiespeichernden Anregungsniveaus zur gleichzeitigen bzw. gegebenenfalls auch zur kontinuierlichen Emission dieses Lichts angeregt wird. Kurz: der Laser ist eine Maschine, die Energie in einen außerordentlich starken Lichtstrahl von ganz bestimmter Farbe verwandelt. Es gibt kontinuierliche Gaslaser, ferner Impuls-, Festkörper- und Flüssigkeitslaser sowie schließlich Halbleiterlaser, die sowohl kontinuierlich als auch im Impulsbetrieb arbeiten können. Ein Lasersystem besteht meist aus einem zylindrischen Stab oder einer zylindrischen Röhre größerer Länge, an deren Ende sich Spiegel befinden, die es gestatten, die gesamte im Lasermaterial aufgespeicherte Energie in ein paralleles Strahlbündel zu verwandeln, das in der Achse am Ende des Laserrohres austritt.

Die Intensität seines Lichtes ist proportional der Menge des Lasermaterials und der im Lasermaterial aufgespeicherten Energie, die optisch oder auf eine andere Weise in das Lasermaterial eingebracht (hineingepumpt) werden kann. Der Vorteil einer Laserlichtquelle ist, neben ihrer sehr großen Intensität, die Tatsache, daß sie nur Licht einer einzigen Farbe ausstrahlt, was es gestattet, sie durch optische Hilfsmittel sehr genau abzubilden oder auf einen Punkt zu konzentrieren. Der Laser bietet also ein Hilfsmittel, in einem derartigen Abbildungspunkt ganz besonders hohe Strahlungsdichten zu erzeugen.

Weniger als ein Jahr nach der Entwicklung des Lasers wurden im Livermore Laboratorium und in anderen Laboratorien der USA Überlegungen darüber angestellt, was passieren müßte, wenn eine kleine Deuterium-Tritium-Probe, d.h. Fusionsreaktorbrennstoff, durch starke Laserbestrahlung »implodiert«, also sehr stark aufgeheizt und komprimiert würde. Diese Überlegungen zeigten, daß bei einer Kompression einer solchen Probe auf das Zehntausendfache ihrer Dichte und unter der Einwirkung der dadurch enorm gesteigerten Temperatur Fusionsprozesse vor sich gehen sollten. Mit der schnellen Verbesserung der Lasertechnologie gelang es 1968 Nikolai G. Basov und seinen Kollegen im Lebedev-Institut in der UdSSR, die ersten Neutronen aus einem laserbeheizten Plasma zu beobachten. Heute arbeitet man in den Laboratorien in Livermore und Los Alamos in den USA und in der UdSSR in großem Stil an der Entwicklung von Lasern, die Lichtpulse mit Energien von etwa 10000 Joules von der Dauer einer Milliardstelsekunde erzeugen können. Mit solchen Lasern würde es möglich sein, erste Laserfusionsexperimente durchzuführen, die den Effekt endgültig demonstrieren könnten. Für praktische Zwecke wären Laser erforderlich, die 300000 Joules in Pulsen von 10^{-8} bis 10^{-9} Sekunden Dauer erzeugen können. Solche Laser existieren zur Zeit noch nicht, man hofft jedoch, sie konstruieren zu können.

Wieder gilt für die bestrahlte Probe das Lawson-Kriterium, aus welchem folgt, daß in Zeiten von 10^{-8} Sekunden, die der Laserimpuls dauert, die Dichte etwa 10000 fach höher ist, als die von flüssigem Wasserstoff sein müßte. Das zentrale Problem bei der Ener-

giefreisetzung ist wiederum, das enorm heiße Plasma der leichten Atome lange genug zusammenzuhalten, damit die Fusionsreaktion stattfinden kann. Ähnlich wie bei der Atombombe ist die Idee, daß die Trägheitskräfte in der komprimierten Probe genügend groß sind, um das Auseinanderfliegen der Probe so lange zu verhindern, bis die Fusionsreaktion abgelaufen ist. Wiederum liegen die Temperaturbereiche, in denen der Prozeß sich abspielt, in der Größenordnung von etwa 100 Millionen Grad.

Eine wesentliche Voraussetzung zur Erreichung dieses hoch komprimierten Zustands der Materie ist, daß das Laserlicht von allen Seiten gleichmäßig auf die zu entzündende Probe einwirkt. Man könnte sich vorstellen, dies dadurch zu erreichen, daß gleichzeitig das Licht eines Lasers von allen Seiten mit geeigneten optischen Hilfsmitteln auf die Probe einstrahlt. Man könnte sich auch denken, daß eine Reihe von Lasern gleichzeitig gezündet wird und ihr Licht aus verschiedenen Richtungen auf die Probe schießt.

Man wird sich natürlich fragen, ob es möglich ist, Wasserstoff auf das 10000fache der natürlichen Dichte des flüssigen Wasserstoffs zu komprimieren. Es stellt sich heraus, daß hierzu geradezu astronomische Drücke, nämlich 10^{12} Atmosphären, erforderlich sind. Drücke also, wie sie sonst nur im Innern von Fixsternen vorkommen. Es ist ein Ergebnis der amerikanischen Untersuchungen, daß laserinduzierte sphärische Implosionen in der Lage sein sollten, diese Werte zu erreichen oder gar zu überschreiten.

Ein Tropfen von 0,1 mm Durchmesser

Wir betrachten ein Beispiel. Man nehme einen Laserpuls von 1 Million Joules (»1000 Kilowattsekunden«) und 10^{-8} Sekunden Dauer. Er falle auf ein kleines Tröpfchen thermonuklearen Brennstoff, d.h. eine Mischung von Deuterium und Tritium, von 1 mm Durchmesser. Das Tröpfchen wird unter der Einwirkung des Lichtes erhitzt und auf etwa 0,1 mm Durchmesser komprimiert. Seine Dichte erhöht sich dabei um mehr als einen Faktor Tausend, und seine Temperatur steigt auf etwa 100 Millionen Grad. Rund 10 Prozent der möglichen Fusionsreaktionen würden ablaufen und

rund das Dreißigfache der eingestrahlten Laserenergie würde erzeugt, nämlich 10 bis 30 Millionen Joules. Diese Fusionsexplosion selbst würde innerhalb von 10^{-11} Sekunden erfolgen, die Leistungsspitze innerhalb dieser Zeit 10^{18} Watt betragen, eine Leistung, wie sie sonst auf der Erde nirgendwo erreicht wird. Diese Energie würde in Form von energiereichen Neutronen, Alpha-Teilchen und Röntgenstrahlen frei und eine Wand oder ein Kühlmedium treffen, in dem sie in Wärme verwandelt wird. Um eine Leistung von 1000 Megawatt, wie sie für ein Kraftwerk nötig wäre, zu erreichen, müßte dieser Vorgang ca. hundertmal pro Sekunde wiederholt werden, und das über Jahre hinweg.

Man erkennt, daß auch hier gewaltige technische Aufgaben zu lösen sind, ehe ein Kraftwerk auf der Basis der durch Laser erzeugten Fusionsexplosionen möglich wäre: Die unentwegte Folge der gewaltigen Laserblitze, die auf regelmäßig erzeugte und in das Verbrennungsvolumen injizierte Tröpfchen aus Fusionsbrennstoff einwirken; das große Kühlsystem, das die Leistung aufzunehmen hat; die Wandmaterialien, die den intensiven Bestrahlungen standzuhalten hätten.

Eine derartige Maschine wird in unserem Jahrhundert sicherlich nicht mehr die Grundlage eines Kernkraftwerks bilden.

Kapitel 14
Strahlenschutz und Reaktorsicherheit

Von Otto Hahn wird folgende Anekdote über einen Besuch in Harwell, dem englischen Atomzentrum, berichtet:

Die Beobachtung des geschickten aber mühsamen Hantierens mit Greifwerkzeugen an den heißen Zellen mit ihren dicken Beton- und Glaswänden entlockte dem mehr als 80jährigen die Bemerkung: »So vorsichtig konnten wir bei unseren Arbeiten gar nicht sein. Wir haben einfach mit den Fingern darin herumgerührt.« Der junge Experimentator antwortete, ohne zu sehen und zu wissen, mit wem er sprach: »Wenn Sie so leichtsinnig verfahren haben, dann werden sie es in 30 Jahren merken.«

Diese Geschichte, ob sie nun wahr ist oder nicht, wirft ein Schlaglicht auf die Unbefangenheit und Sorglosigkeit, die zu Beginn der Arbeiten mit der Kernphysik noch beim Umgang mit radioaktiven Strahlungen herrschten. Auf den Etiketten der meisten Mineralwasserflaschen fand man in den fünfziger Jahren noch den werbenden Hinweis auf den Gehalt an Emanation, was man heute meist verschweigt, obwohl die heilende Wirkung durchaus nicht von der Hand zu weisen sein mag.

Röntgenstrahlen im Schuhgeschäft

Selbstverständlich haben die Wissenschaftler auch längst Erkenntnisse über die Gefahr der Einwirkung von Radium- und Röntgenstrahlung gesammelt. Aber man ist sich auch heute oft nicht immer des gefährlichen Umstands bewußt, daß Patienten, besonders Kinder, allzu häufigen Röntgenuntersuchungen ausgesetzt werden. Noch vor gar nicht langer Zeit standen z. B. in Schuhgeschäften Röntgenapparaturen, mit deren Hilfe der Kunde – bei einem Einkauf zuweilen viele Male – nachprüfen konnte, ob die Schuhe

richtig paßten. Erst nach den Atombombenabwürfen und ihren speziellen Folgeschädigungen durch Strahlung und aufgrund des intensiven Umgangs mit radioaktiven Substanzen in Laboratorien und Betrieben rückten diese Zusammenhänge in den Vordergrund des öffentlichen Interesses.

Untersuchungen über Grenzwerte einer von außen wirkenden Strahlenbelastung wurden zuerst 1925 mit Röntgenstrahlen vorgenommen. In Deutschland war es Friedrich Dessauer in Frankfurt, der die Anfänge der Röntgenstrahlen miterlebt hatte und äußerlich durch schwere Röntgenverbrennungen gezeichnet war. Er starb 1963 im Alter von 82 Jahren. Madame Marie Curie starb 1934 im Alter von 67 Jahren an Leukämie, einer Krankheit, die durch Einwirkung durchdringender Strahlen ausgelöst werden kann. – Um das Jahr 1935 begannen systematische Arbeiten über maximal zulässige innere Strahlenbelastung bei Inkorporationen von Radium. In der gleichen Zeit nahm die Internationale Kommission für Strahlenschutz (International Commission for Radiological Protection, ICRP) ihre Studien auf, welche die Festlegung von Grenzwerten für äußere und innere Strahlenbelastung zum Gegenstand hatten.

Als dann die Entwicklung der Kernenergie einsetzte, wurden noch während des Zweiten Weltkrieges in den USA und später weltweit die meßtechnischen und biologischen Grundlagen des Strahlenschutzes erarbeitet. Auf sie gestützt, legte die ICRP ihre Grenzwerte für die äußere Strahlenbelastung des Menschen für die verschiedenen Arten der Kernstrahlung fest.

In Deutschland arbeitete Boris Rajewsky über Strahlenbelastung und Grenzwerte. Das geschah noch im damaligen Kaiser-Wilhelm-Institut für Biophysik in Frankfurt, dem späteren Max-Planck-Institut für Biophysik. Rajewsky ermittelte – übrigens gleichzeitig mit Robley D. Evans in den Vereinigten Staaten – den Wert der maximal zulässigen Körperbelastung mit Radium zu 0,1 μg (= $^1/_{10\,000\,000}$ Gramm) Radium. Dieser Wert wurde später den ICRP-Werten für die Strahlenbelastung durch die langlebigen, in Knochen gespeicherten Radionuklide wie Strontium 90 und die Plutoniumisotope zugrunde gelegt.

Rajewsky hat als prominenter Vertreter der Bundesrepublik in

der ICRP mitgearbeitet und mit seinem Institut entscheidend zur Schaffung des Atomgesetzes sowie der Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik beigetragen.

Die Einheit der Strahlenbelastung ist das »rem«. Die Einheit rem – aus *r*ad *e*quivalent *m*an – (wobei ein rad aus *r*adiation *a*bsorbed *d*ose zusammengesetzt ist und einer absorbierenden Strahlenenergie von 100 erg pro g entspricht) erfaßt die im Körpergewebe absorbierte Strahlenenergie (absorbed dose) unter spezieller Berücksichtigung biologischer Schädigungen im menschlichen Körper (equivalent man). Ein mrem bedeutet $^1/_{1000}$ oder 0,001 rem.

Strahlenschäden – erst spät bemerkt

Da der Mensch kein Sinnesorgan zur Wahrnehmung ionisierender Strahlen hat, empfindet er eine Strahlenbelastung nicht selbst. Schädigungen durch zu hohe Strahlenbelastung machen sich erst allmählich in funktionellen Störungen bemerkbar. Um so mehr bedarf es einer allgemeinen Kontrolle vorhandener Radioaktivität und einer ständigen Beobachtung all derer, die routinemäßig mit Radioaktivität umgehen.

Ionisierende Strahlen können genetische und somatische Schäden hervorrufen. Genetische Schäden wirken sich in Veränderungen der Chromosomen und damit in Mutationen, d.h. Veränderungen der Erbanlagen, aus. Somatische Schäden betreffen die Organe und das Gewebe. Die zulässigen Grenzwerte für Ganzkörperbestrahlung liegen bei 5 rem pro Jahr (rem/a) für strahlenexponierte Personen. Diese Werte gelten auch als Grenzwerte für die Strahlenbelastung des Knochenmarks als Träger der Blutbildung und für die Augenlinsen. Für die Schilddrüse ist mit 30 rem/a eine höhere Strahlenbelastung und für die Extremitäten wie Knöchel, Hände und Füße sind 60 rem/a zugelassen.

Der Begriff »Ionisierende Strahlung« umfaßt die drei Komponenten der radioaktiven Strahlung, nämlich α-Strahlen (Heliumkerne), β-Strahlen (Elektronen) und γ-Strahlen (elektromagnetische Strahlung, kurzwelliger, und damit energiereicher als Röntgenstrahlung) sowie die Neutronenstrahlung, also die bei der Kernspaltung freigesetzten Neutronen.

α-Strahlen, die hohe Energie besitzen, werden schon in dünnsten Folien absorbiert. Sie geben durch Ionisierung ihre Energie auf kurzem Wege ab, im Körpergewebe auf wenigen tausendstel Millimeter. Infolgedessen verursachen sie eine starke biologische Schädigung längs des Absorptionsweges. Ähnliches gilt für energiereiche sogenannte schnelle Neutronen, die ihre beim Spaltungsprozeß freigewordene Energie noch nicht durch Abbremsung verloren haben. Sie ionisieren nicht selbst, sind aber durchdringend und lösen sekundäre, stark ionisierende Teilchen aus. Diese beiden Strahlenarten besitzen deshalb eine hohe relative biologische Wirksamkeit (RBW-Faktor), d.h. einen hohen Schädigungseffekt.

β-Strahlen, deren Ionendichte auf dem Absorptionsweg sehr viel geringer ist, werden in Schichtdicken von einigen Millimetern Wasser bzw. Körpergewebe absorbiert; sie besitzen eine entsprechend niedrigere biologische Wirksamkeit. Das gleiche gilt für γ-Strahlen, die beim Absorptionsprozeß ihre Energie auf Elektronen des Absorptionsmediums übertragen, welche dann als Energieträger mit β-Strahlen identisch sind.

Meterdicke Betonwände als Schutz

Zur Strahlenabschirmung in der Kerntechnik dienen meterdicke Betonwände. γ-Strahlen werden darin direkt absorbiert, während schnelle Neutronen zunächst nur abgebremst werden. Zur Absorption der langsamen Neutronen dienen spezielle Absorber, z.B. Bor. In der Laboratoriumspraxis werden γ-Strahlen durch Bleiwände von einigen Zentimetern Stärke abgeschirmt. Für die Handhabung von β-Strahlen genügen Boxen mit Kunststoffscheiben.

Man weiß, daß die biologische Wirkung der ionisierenden Strahlung nicht einfach additiv ist. Der Körper hat offensichtlich ein Regenerationsvermögen und baut geringfügige Schäden wieder ab. So kann eine Strahlendosis, deren Aufnahme – über ein ganzes Jahr verteilt – unschädlich ist, kurzzeitig als Stoßbelastung aufgenommen, doch bleibende Schäden verursachen. Aus diesem Grund ist die Einzeldosis für strahlenexponierte Personen auf 3

rem begrenzt. Eine solche Einzeldosis darf in einem Zeitraum von 13 Wochen nur einmal aufgenommen werden.

Genauere Erkenntnisse über solche Gesetzmäßigkeiten hat man seit etwa 35 Jahren, d.h. seit Beginn der Kerntechnik. Seit dieser Zeit sind Erfahrungen über organische Schädigungen und über die zumutbare Strahlendosis mit großer Sorgfalt ermittelt und aufgezeichnet worden.

Der Mensch ist von jeher einer natürlichen Strahlenbelastung ausgesetzt, die ohne unser Zutun und ohne unsere Einwirkungsmöglichkeit von der kosmischen Strahlung, der natürlichen Radioaktivität der Umwelt und den im Körper vorhandenen radioaktiven Stoffen, hauptsächlich vom Kalium, herrührt.

Diese Strahlendosis ist von Ort zu Ort verschieden. Mit zunehmender Höhe nimmt auch die Höhenstrahlung zu. In Urgesteinen ist die Radioaktivität größer als in Sedimenten. Auch Baustoffe, die aus solchen Gesteinsarten hergestellt worden sind, erzeugen eine unterschiedliche Radioaktivität. Allgemein liegt die natürliche Strahlendosis, der wir alle ausgesetzt sind, bei etwa 125 mrem pro Jahr. Sie kann – je nach der Umgebung, z.B. in großer Höhe – bis auf 800 mrem anwachsen.

Über die Wirkung solch geringer Strahlendosen auf den lebenden Organismus weiß man noch sehr wenig. Es ist auch gar nicht sicher, ob diese natürliche Strahlendosis für den Menschen überhaupt eine Belastung darstellt. Es kann durchaus sein, daß sie als natürlicher Umweltfaktor eine selbstverständliche Einflußgröße ist, die wie viele solcher Einwirkungen nur im Übermaß schädlich wird.

Möglich ist auch, daß diese ionisierende Strahlung in geringen Dosen ähnliche Wirkung hat wie das UV-Licht, das bei zu großer Dosierung Verbrennungsschäden hervorruft, wie sie das Sonnenlicht verursacht. Wir wissen aber auch, daß vollständiger Entzug des Sonnenlichtes schädlich ist und z.B. Mangelkrankeiten wie Rachitis hervorruft. Ebenso kann es sein, daß ein vollständiger Entzug der radioaktiven Strahlung dem Menschen schaden kann und deswegen z.B. die Einwirkung radioaktiver Heilwässer auch nützlich sein kann. Jedenfalls steht fest, daß die Menschen seit Urzeiten mit dieser natürlichen Strahlendosis leben.

Wachsende Strahlung durch Kernexplosion

Nach zahlreichen Kernexplosionen im Zuge der nuklearen Aufrüstung regten sich Aufmerksamkeit und Empörung der Weltöffentlichkeit, die damals zum erstenmal Ergebnisse von weltweiten Messungen erfuhr. Tatsächlich stieg damals die natürliche Strahlenbelastung in der Atmosphäre um ca. 25 Prozent an.

Bei diesen Messungen wurden auch wertvolle Erkenntnisse gewonnen über die nachhaltige Ausbreitung und die Verweilzeit radioaktiver Nuklide in der Atmosphäre; sie sind für die Beurteilung möglicher Gefahren und Schädigungen nach Betriebsunfällen in kerntechnischen Anlagen wichtig.

Übrigens haben jene Messungen noch ein weiteres Ergebnis gebracht: Spaltprodukte verbreiten sich in der Atmosphäre sehr rasch, wie man auch an kurzlebigen sehen kann, z. B. Jod 131 mit seiner Halbwertszeit von 8 Tagen (das bisweilen zu Untersuchungszwecken als medizinisches Präparat ja auch in den menschlichen Körper eingebracht wird). So wurde bald nach einer Kernexplosion Jod sowohl in den USA als auch in den europäischen Ländern mit ungefähr gleicher Konzentration in der Atmosphäre ermittelt. Während jedoch solch kurzlebige Spaltprodukte durch radioaktiven Zerfall bald vollständig abgebaut wurden, war die Wirkung der langlebigen Radionuklide wie Strontium 90 und Cäsium 137 mit Halbwertszeiten von ca. 30 Jahren sehr viel nachhaltiger. Als 1964, also ein Jahr nach dem Atombombenstopp, die allgemeine Belastung der Atmosphäre fast wieder abgeklungen war, fand man noch ansehnliche Mengen dieser langlebigen Isotope in Nahrungsmitteln.

Bei Kernkraftwerken unter 0,5 rem

Die Euratom-Normen haben als jährliche Grenzdosis für die Gesamtbevölkerung 0,5 rem festgesetzt. Bei der Auslegung von Kernkraftwerken wird die zulässige Umweltbelastung durch die Genehmigungsbehörden im Einzelfall bestimmt, wobei die vorgeschriebenen Grenzwerte im allgemeinen noch unter diesen 0,5 rem liegen. Die damit verbundenen Auflagen bestimmen den erfor-

derlichen technischen Aufwand und beeinflussen naturgemäß ebenso die Kosten der Energieerzeugung.

Konzentration und Menge radioaktiver Abgase der Kernkraftwerke lassen sich durch entsprechende technische Maßnahmen in den geforderten Grenzen halten.

Kühlkreisläufe von Kernkraftwerken haben hochentwickelte Reinigungssysteme, mit denen radioaktive Substanzen, die durch Korrosion oder Verschleiß in das Kühlwasser gelangt sind, zurückgehalten werden. Selbstverständlich wird die Konzentration in diesen Kreisläufen genau überwacht. Hierfür sind aufwendige präzise Methoden entwickelt worden, um selbst Spuren von Radioaktivität im Abwasser nicht nur festzustellen, sondern auch so niedrig wie möglich zu halten.

Aus Kernreaktoren weniger als 1 mrem

Seit einiger Zeit veröffentlicht die Bundesregierung regelmäßig mittlere Werte der Strahlenbelastung, wie sie hierzulande durch Messungen ermittelt werden. Unveränderlich ist zunächst die mittlere Strahlenbelastung für die Gesamtbevölkerung von 110 mrem pro Kopf und Jahr. Davon stammen 30 mrem aus kosmischer, 60 mrem aus terrestrischer Strahlung von Gesteinen und Baustoffen und 20 mrem aus radioaktiven Stoffen, die im menschlichen Körper enthalten sind.

Hinzu kommt eine Belastung aus der Anwendung von Röntgenstrahlen und radioaktiven Stoffen in der Medizin. Sie wurde 1973 – wenn man die von Einzelpersonen aufgenommene Strahlendosis auf die Gesamtbevölkerung umrechnet – mit ca. 50 mrem pro Kopf und Jahr ermittelt. Weitere 10 mrem stammen aus vielen allgemeinen technischen Quellen. Weniger als 1 mrem im Jahr kommt aus der friedlichen Nutzung der Kernenergie in Kernreaktoren.

Man darf aus dieser Ermittlung ableiten, daß bei vorsichtiger Bestimmung der Standorte in der Bundesrepublik mehrere hundert Kraftwerke errichtet werden könnten, ohne daß die Gesamtbevölkerung im geringsten gefährdet wäre.

Für jene, die innerhalb der kerntechnischen Einrichtungen einer

Strahlenexposition unterliegen, gelten besondere Vorschriften. Die entsprechende Dosis stellt den jährlichen Mittelwert einer für das gesamte berufliche Lebensalter maximal zugelassenen Belastung von 250 rem dar. Dabei darf die berufliche Tätigkeit »strahlenexponierter Personen« erst mit dem 18. Lebensjahr aufgenommen werden.

Das Personal kerntechnischer Einrichtungen ist sowohl der äußeren wie auch der inneren Strahlenbelastung ausgesetzt.

Die äußere Strahlenbelastung wird in den Laboratorien durch γ-Strahlung und in den kerntechnischen Anlagen außerdem durch Neutronenstrahlung hervorgerufen. Sie kann und muß durch geeignete Abschirmvorrichtungen auf einem vertretbaren Minimum gehalten werden. Alle Arbeitsplätze sind durch geeignete Meßeinrichtungen kontrolliert. Die Belastung der einzelnen Menschen wird durch ablesbare Dosimeter verfolgt. Die monatlich aufgenommene Dosis wird von staatlichen Behörden, z.B. durch Auswertung von Filmplaketten, überwacht.

Die innere Strahlenbelastung entsteht durch Eindringen radioaktiver Stoffe in den Körper über die Atmung oder über die Haut. Um das zu verhindern, muß das Personal in den Arbeitsräumen vor dem Einatmen flüchtiger radioaktiver Stoffe geschützt werden. In Laboratorien dienen dazu mit Unterdruck betriebene Boxen, die nur über Schleusen zugängig sind. Die Aufnahme über die Haut, vorwiegend über die Hände, wird mit Hilfe von Handschuhen und Ferngreifern vermieden.

Um eine etwaige Inkorporation genau verfolgen zu können, müssen spezielle Prüfungen der Organe vorgenommen werden. Außerdem werden die Ausscheidungen auf Radioaktivität kontrolliert.

Aufgrund der weltweit erarbeiteten wissenschaftlichen Erkenntnisse war es möglich, exakte gesetzliche Vorschriften zu erlassen und dafür zu sorgen, daß diese auch eingehalten werden. Es gibt daher kaum ein Gebiet, auf dem die Vorschriften des Arbeitsschutzes so detailliert schon vor Betrieb der Anlage festgelegt und ihre Einhaltung während der Arbeit kontrolliert werden können. Nur in den Entwicklungsjahren der Kerntechnik hat es einige Personenschäden gegeben, die damals noch auf Unkenntnis der mög-

lichen Gefahren und unvollständige Sicherheitsvorrichtungen zurückzuführen waren. Solche Vorkommnisse sind in der amerikanischen Fachliteratur ausführlich analysiert und beschrieben worden.

Inzwischen sind hinreichende Erfahrungen gemacht worden, so daß man auch über einen großen Zeitraum hinweg die maximal zulässige Dosis von 5 rem/Jahr deutlich unterschreiten kann.

Die von den Beschäftigten aufgenommene Dosis liegt meist, wie gesagt, erheblich unter dem zulässigen Grenzwert von 5 rem pro Jahr. Eine Statistik vom Oak Ridge National Laboratory in den USA zeigt, daß von 1963 bis 1965 von durchschnittlich 4000 Beschäftigten 80 Prozent nur eine Jahresdosis von unter 0,1 rem aufgenommen haben, also die Höhe der natürlichen Strahlenbelastung gar nicht überschritten worden war. Bei 10–15 Prozent lag die Jahresdosis zwischen 0,1 und 0,5 rem. Weniger als 1 Prozent hatten Dosiswerte zwischen 1 und 5 rem. Nur ein Mitarbeiter war mit 6 rem belastet worden.

Ähnliche Verhältniszahlen liefert die statistische Auswertung der regelmäßigen Beobachtung der Strahlenbelastung auch für die Bundesrepublik Deutschland.

Weit unter der Gefährdungsgrenze

Auch die Inkorporationswerte, die ebenfalls sorgfältig kontrolliert werden, liegen deshalb extrem niedrig. Die Überwachungsbehörden machen zuweilen schon das einmalige Erreichen einer als Dauerbelastung zulässigen Inkorporation meldepflichtig, obwohl die aufgenommene Strahlung noch weit unter der Gefährdungsgrenze liegt.

So läßt sich aufgrund langjähriger Erfahrungen also sagen, daß sowohl die Strahlenbelastung der Umwelt als auch jene des in den Anlagen arbeitenden Personals sich weit unter der Gefahrengrenze hält. Alles dies gilt selbstverständlich nur, solange mit Sorgfalt gearbeitet wird und außerdem absolute Offenheit bezüglich der Darlegung aller betrieblichen Verhältnisse gewahrt bleibt. Ist beides sichergestellt, dann besteht auch kein Anlaß zu Angst und Sorge.

Inzwischen ist überdies geklärt, daß in der Nähe kerntechnischer Anlagen keinerlei Unruhe in der Bevölkerung mehr besteht, wenn die Einrichtung einige Monate lang in Betrieb ist.

Vertrauen ist vor allem in die kerntechnischen Laboratorien und Betrieben selbst geboten. Es hat sich gezeigt, daß auch die Belegschaft im allgemeinen von der Zuverlässigkeit der Einrichtungen überzeugt ist. Es ist sehr selten vorgekommen, daß Mitarbeiter aus Angst vor Strahlung solche Arbeitsplätze wiederaufgegeben haben.

Reaktorsicherheit

Am Dienstag, dem 3. Januar 1961, 9.00 Uhr abends, arbeiteten in der amerikanischen Reaktorversuchsstation in Idaho drei Männer am Stationären Niederenergie-Reaktor Nr. 1 (Stationary Low-Power Reactor No. 1, abgekürzt SL 1-Reaktor), einem Prototyp der amerikanischen Armee. Es handelte sich um militärisches Personal; zwei Männer waren Reaktoroperateure. Der dritte befand sich als Operateur in Ausbildung. Der Reaktor war seit zwölf Tagen stillgelegt und sollte am nächsten Morgen wieder in Betrieb genommen werden. Die Männer waren damit beschäftigt, die im Reaktor befindlichen abgekoppelten Kontrollstäbe wieder mit ihren automatischen Antrieben zu verbinden. Zu diesem Zweck wurden sie unter anderem ein wenig von Hand bewegt.

Um 9.02 Uhr erhielten drei Feuerstationen der Versuchsanlage Alarm von automatischen Hitzefühlern im SL1-Gebäude. In einer benachbarten Reaktoranlage gab ein Strahlendetektor Alarm. Als die Feuerwehren am SL1-Gebäude ankamen, fanden sie ein gefährlich hohes Strahlenniveau vor. Das Betreten des Gebäudes war zunächst nicht möglich.

Der erste echte Reaktorunfall hatte sich ereignet

Im Innern des Gebäudes herrschte eine Strahlenbelastung von 1000 Röntgen/h. Zwei der Operateure wurden tot aufgefunden, der dritte, schwerverletzt und unfähig zu sprechen, starb auf dem Weg ins Hospital. Der Deckel des kleinen Siedewasserreaktors war an die Decke des Gebäudes geschleudert worden; dort fand

man in einem Tragegestänge auch den einen der toten Operateure, der vorher auf dem Deckel des Reaktors gearbeitet hatte. Das ganze Oberteil des Reaktors war zerstört.

Was war geschehen? Die Rekonstruktion des Unfalls ergab, daß offenbar einer der Kontrollstäbe zu weit aus dem Reaktor herausgezogen worden war. Der Reaktor wurde überkritisch und erzeugte innerhalb von Sekunden eine sehr große Energiemenge, die zu einer explosionsartigen Zerstörung des Reaktors führte, ähnlich wie ein Dampfkessel explodiert bei zu starker Erhitzung des in ihm kochenden Wassers.

Die starke Erhitzung des Cores hatte außerdem einen großen Teil der Brennstoffelemente zerstört, wodurch radioaktive Substanzen freigesetzt und in das Gebäude ausgetrieben wurden. Es wurde später festgestellt, daß sowohl die explosionsartige Zerstörung des Kessels als auch die starke freigesetzte Strahlung jeweils für sich genügt hätten, den Tod der drei Operateure herbeizuführen.

Die ersten Unfälle – die letzten?

Bis zu diesem Tag hatte es in den USA drei tödliche Strahlenunfälle gegeben, die jedoch nicht mit Reaktorunfällen zusammenhingen. In Jugoslawien erhielt ein Techniker eine tödliche Strahlendosis, als ein kritisches, nicht abgeschirmtes Reaktorexperiment eine unvorhergesehen hohe Leistung erreichte, ohne daß jedoch der Reaktor selbst zerstört wurde.

Schon vorher hatte es in England den bekannten Windscale-Unfall gegeben, bei dem größere Mengen radioaktives Jod freigesetzt worden waren, jedoch handelte es sich auch hier nicht um das Durchgehen eines Reaktors, das zu einem explosionsartigen Verlauf geführt hätte. Der Unfall verlief ohne Personenschäden.

Seit dem SL1-Unfall sind Verluste von Menschenleben durch Reaktorexkursionen nicht mehr bekannt geworden.

Ist die Kerntechnik gefährlich? Können wir uns gegen diese Gefahren schützen? Wie steht es um die Sicherheit der Reaktoren? Können wir bei den heutigen Kernkraftwerken Unfälle von der Art des SL1-Unfalls verhindern? Auf welche Weise könnten die strahlenden Substanzen des Reaktorinnern in die Außenwelt ge-

langen? Das sind die Fragen, die seit den Bomben auf Hiroshima und Nagasaki die Öffentlichkeit im Zusammenhang mit der Kerntechnik bewegen.

Die Fachleute sagen, die kerntechnischen Anlagen seien heute so sicher gebaut, daß selbst im Falle einer Störung oder eines Unfalls die Außenwelt von den Folgen unberührt bleibt. Dies bewahrheitete sich auch schon bei dem Unfall des Reaktors SL 1. Das Einschlußgebäude blieb unversehrt; die Umgebung des Reaktors zeigte kaum Erhöhungen des Strahlenpegels. Bald nach dem Unfall wurde die dicht am Reaktor vorbeiführende Hauptverkehrsstraße wieder freigegeben.

Um die Sicherheitsfragen kerntechnischer Anlagen beurteilen zu können, muß zunächst ein wenig genauer auf die Gefährdungsmöglichkeiten durch Kernreaktoren eingegangen werden. Es müssen die beiden Aspekte unterschieden werden, die schon beim SL1-Unfall maßgebend waren. Ein Reaktor enthält eine sehr große Menge radioaktiver Spaltprodukte, d.h. strahlender Substanzen, die durch ihre Strahlung gefährlich werden können, wenn sie aus dem Reaktor austreten.

Außerdem enthält der Reaktor eine große Menge von Energie, die in der Atombombe explosionsartig, beim Kernreaktor im Normalbetrieb in gesteuerter Form und in gewissen Unfallsituationen auch unkontrolliert und heftig freigesetzt werden kann. Führt solch ein Unfall zur Zerstörung des Reaktorcores, können sowohl große Mengen von Energie als auch die radioaktiven Substanzen des Cores freigesetzt werden. Vor den Folgen beider Vorgänge muß die Umwelt geschützt werden.

Das Ziel der Reaktorsicherheitsentwicklung ist, Unfälle dieser Art auszuschließen.

Zunächst muß einmal festgestellt werden, daß ein Kernreaktor sich in grundlegenden Eigenschaften von einer Atombombe unterscheidet. Infolgedessen kann auch niemals durch einen Kernreaktor eine nukleare Explosion entstehen, die einer Atombombe ähnlich wäre.

Der wichtigste Unterschied liegt darin, daß in der Atombombe der Kernbrennstoff, z.B. Uran 235 oder Plutonium, sehr hoch, d.h. über 95% angereichert ist, während im Kernreaktor, z.B. in

den heutigen Leichtwasserreaktoren, die Urananreicherung des Kernbrennstoffes nur 2 bis 3% beträgt.

Außerdem enthält die Atombombe besondere Einrichtungen, die es gestatten, die Kritikalität in besonders kurzer Zeit und in besonders starkem Maße zu erzeugen, so daß innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde riesige Energiemengen freigesetzt werden. Der Kernreaktor ist so eingerichtet, daß die Erzeugung einer stärkeren Kritikalität stets schwierig ist.

Energiefreisetzung ist begrenzt

Beim SL1-Unfall wurde durch die willkürliche Bewegung des Abschaltstabes mit der Hand eine verhältnismäßig große Steigerung der Kritikalität unabsichtlich herbeigeführt. Bei den heutigen Reaktoren ist ein derartiger Vorgang undenkbar. Die entwickelte Energie im Falle des SL1-Reaktors war relativ klein. Sie genügte zur Erhitzung des im Reaktor befindlichen Wassers und dadurch zum Herbeiführen einer Dampfexplosion. Die Kettenreaktion schaltete sich durch das Austreiben des Wassers von selbst ab. Auch bei den heutigen Leichtwasserreaktoren würde ein Entweichen des Wassers aus dem Core-Innern automatisch zur Beendigung der Kettenreaktion führen. Die Energiefreisetzung ist also in jedem Fall begrenzt.

Die Sorgen im Zusammenhang mit Sicherheitsüberlegungen bei Leistungsreaktoren betreffen deswegen in der Regel auch gar nicht die Energiefreisetzung, sondern vielmehr die Möglichkeit, daß bei Störungen die ungeheuren Mengen radioaktiver Spaltprodukte, die sich im Innern des Reaktors ansammeln, frei werden könnten. Hierfür könnte es zwei Ursachen geben. Einerseits die schon erwähnten Störungen der Kritikalität, die zu einer Erhöhung der Energieerzeugung im Reaktor und damit zu seiner Zerstörung führen müssen. Eine Zerstörung des Reaktor-Cores könnte jedoch auch daher rühren, daß seine Kühlung aussetzt. In diesem Falle würde sich das Core erhitzen, und der Brennstoff würde unter Umständen schmelzen. Die verschiedenen Einschlußwände und Absperrmaßnahmen, welche das Core umgeben und gegen die Außenwelt abriegeln, könnten zerstört werden und die radioaktiven Substanzen aus dem Core austreten und ins Freie gelangen.

Von den zahlreichen radioaktiven Spaltprodukten eines Leichtwasserreaktors von 1000 Megawatt, die sich nach 180 Tagen Abbrand im Core-Innern befinden, sind die wichtigsten das Jod 131, Strontium 90, Cer 144, Plutonium und Tritium. Der Reaktor enthält nach dieser Zeit etwa 80 Millionen Curie Jod 131 mit einer Halbwertszeit von etwa 8 Tagen (1 Curie = 37 Milliarden Zerfälle pro Sekunde). Er enthält ferner 2 Millionen Curie Strontium 90 mit einer Halbwertszeit von 28 Jahren; 48 Millionen Curie Cer 144 mit 280 Tagen Halbwertszeit; etwa 4 Millionen Curie Plutonium mit rund 10000 Jahren Halbwertszeit und rund 20000 Curie Tritium mit 12 Jahren Halbwertszeit. Diese Substanzen sind bei normaler Temperatur teils flüchtig, teils kondensiert. Bei höheren Temperaturen gehen sie jedoch alle in dampfförmigen Zustand über. Bei der Zerstörung der Brennelemente können sie aus dem Brennstoff austreten.

Ein Gebäude aus Beton . . .

Das Core, d.h. die Anordnung der Brennelemente, befindet sich in einem auf hohe Belastung berechneten Druckbehälter. Wenn dieser zerstört werden sollte, so schützt eine biologische Abschirmung, die aus dickwandigem, für Strahlung weitgehend undurchlässigem Spezialbeton besteht.

Im Falle des modernsten Reaktors in Biblis sind Druckkessel, Dampferzeuger und Kühlpumpen durch einen besonderen Betonschutz von den übrigen Hilfsapparaten abgeschirmt. Darum befindet sich noch ein stählerner Sicerheitsbehälter, der nur durch Schleusen zugänglich ist.

Schließlich ist die gesamte Apparatur in einem kugelförmigen Sicherheitsbehälter untergebracht, der so ausgelegt ist, daß er den Druck aufnehmen kann, der bei Verdampfung des gesamten Kühlwassers entstehen kann.

Dieser Behälter befindet sich in einem riesigen Einschlußgebäude aus Beton, das dem modernen Kernkraftwerk seine charakteristische Form gibt. Dieses Gebäude ist in seinen Dimensionen und seinen Wandstärken so konstruiert, daß es auch Beanspruchungen durch Erdbeben und schwere Beschädigungen, z.B. auch durch Aufprall eines Flugzeuges, standhalten kann.

Nach dem heutigen Stand der Technik sind die Einschlußmaßnahmen für den Reaktor in der Lage, mit allen voraussehbaren Störungen in der gesamten Anlage fertig zu werden.

Für den normalen und störungsfreien Betrieb kommt es aber darauf an, daß alle diese Schutzmaßnahmen niemals in Anspruch genommen werden. Voraussetzung dafür ist, daß im Core keine unkontrollierte Vermehrung der Kritikalität eintritt. Ein Analogon zu dem SL1-Unfall wird bei den modernen Reaktoren durch mechanische und elektrische Einrichtungen unmöglich gemacht. Die Bewegungen der Regelstäbe, die sich zwischen den Brennelementen befinden und auf und ab geschoben werden können, werden grundsätzlich so langsam ausgeführt, daß das Kritischwerden des Reaktors von einer Vielzahl voneinander unabhängiger Instrumente erkannt und gesteuert werden kann. Eine fehlerhafte Bedienung ist durch besondere Sicherungen unmöglich gemacht.

Es wird darauf geachtet, daß die absorbierenden Materialien in den Regelstäben, z. B. Bor, Cadmium oder andere neutronenabsorbierende Substanzen, nicht im Laufe der Zeit durch die starke Neutronenstrahlung verbraucht werden.

Eine Fülle von Sicherheitsvorkehrungen

Weiterhin muß ständig die ausreichende Kühlung des Reaktors kontrolliert und sichergestellt sein. Sie ist auch notwendig, wenn die Kettenreaktion als solche abgeschaltet worden ist. In diesem Augenblick befinden sich im Reaktor riesige Mengen radioaktiver Substanzen, die noch lange Zeit nach dem Abschaltvorgang eine gewisse Menge Energie zusätzlich erzeugen. Auch der abgeschaltete Reaktor muß deshalb noch gekühlt werden, um diese Nachwärme zu beseitigen.

Für den Fall, daß sich in dieser normalen Kühlung eine Störung ergibt, tritt eine sehr genau durchdachte Notkühlung an deren Stelle. Sie wird durch unabhängige Kreisläufe aufrechterhalten, und zwar sind mehrere Reservemöglichkeiten nebeneinandergeschaltet. Für die Notkühlung wird Wasser bereitgehalten. Außerdem ist borhaltiges Wasser zur Einspritzung in den Reaktor vorgesehen, welches die Reaktivität herabsetzt.

Sollten auch die verschiedenen Notkühlungen ausfallen, so könnte es dazu kommen, daß die Brennelemente schmelzen und die gesamte Masse des Cores sich schließlich so hoch erhitzt, daß eine einzige zusammenhängende Schmelze entsteht, die sich nun jeder Kühlungsmöglichkeit entzieht, und in der die großen vorhandenen Mengen an Radioaktivität zusätzlich Energie erzeugen. Heutige Kernreaktoranlagen werden so geplant, daß von dieser recht unwahrscheinlichen Coreschmelze keinerlei Störung nach draußen gelangen kann. Zur Instrumentierung des Reaktors gehört auch, daß die Dichtigkeit der Brennelemente gegen die Freisetzung von radioaktiven Substanzen in den Kühlkreislauf ständig genauestens überwacht wird und Undichtigkeiten auf einfachem Wege lokalisiert werden können. Wird eine solche Undichtigkeit entdeckt, so ist es ohne Schwierigkeiten möglich, den Reaktor abzuschalten und das Brennelement auszuwechseln. Die radioaktiven Substanzen, die in den Kühlkreislauf eingetreten sind, werden durch Filterprozesse entfernt, ohne daß durch einen solchen Vorgang die Funktionsfähigkeit des Kernkraftwerkes beeinträchtigt wird.

Die Sicherheitseinrichtungen des Reaktors und die logistische Analyse aller auch nur denkbaren Unfälle haben sich Schritt für Schritt entwickelt und sind mit den Untersuchungs- und Prüfungsmethoden der Sicherheitsbehörden in Einklang gebracht worden.

Bei den Reaktorbauern wie bei den Behörden bedeutete das einen Lernprozeß, der auch heute noch nicht abgeschlossen ist. Für jede Kernreaktoranlage wird in einem Sicherheitsbericht der größte anzunehmende Unfall, der sogenannte GAU, aufgrund einer sorgfältigen Analyse aller auch nur irgendwie denkbaren Fehlerquellen und Störungen ermittelt.

Die Überwachungsbehörden fordern, die Anlage so auszulegen, daß auch beim Eintritt dieses GAU die Umgebung von jeglichen Folgen des Unfalls unberührt bleibt. Z.B. wird verlangt, daß der Sicherheitsbehälter und das ihn umhüllende Einschlußgebäude allen solchen Ansprüchen wirklich standhält.

Eine solche Analyse aller nur denkbaren Unfallabläufe und die Definition des GAU sind nicht einfach und waren gleichfalls ein ständiger Lernprozeß. Dies hatte zur Folge, daß im gegenwärtigen

Stadium die Genehmigungen eines großen Kernkraftwerkes einen längeren Zeitraum, nämlich 2 bis 3 Jahre, in Anspruch nehmen, wobei dann noch die öffentlichen Genehmigungsverhandlungen erhebliche Verzögerungen bedeuten. Diese längere Dauer kommt auch dadurch zustande, daß jede Überlegung und Verbesserung zunächst zwischen den Erbauern und den Behörden sehr sorgfältig besprochen und ausgehandelt und schließlich in dem öffentlich auszulegenden Sicherheitsbericht beschrieben werden. Gerade durch diese Sorgfalt und Offenheit aber ist in der Öffentlichkeit vielfach der Eindruck entstanden, als ob der GAU eine wandelbare Größe sei, die dann schließlich auch einmal eintreten könne.

Bisher ist ein solcher GAU nirgendwo eingetreten. Die Betriebsstörungen, die sich ereignet haben, traten stets innerhalb des Sicherheitsbehälters ein. Da sie aber öffentlich diskutiert werden, und zwar mit einer Publizität, die bei keiner anderen technischen Einrichtung üblich ist, entsteht immer wieder die Vorstellung, daß die Reaktoren unsicher seien. Daß diese Diskussionen zum Teil auch entstellt und böswillig geführt werden, schürt das Unbehagen noch mehr.

Immer und immer mehr Sicherheit

Alle Sachkundigen sind sich jetzt darüber einig, daß der Zeitpunkt erreicht ist, die Sicherheitsvorkehrungen wenigstens für eine gewisse Zeit zu normen, um nicht bei jedem Reaktorbau neue Verhältnisse zu schaffen. Denn auch das bedeutet für Überprüfung und Kontrolle des Betriebes auf lange Sicht ein Moment der Verzögerungen.

Auch bei normalem Betrieb werden aus dem Reaktorinnern geringe Mengen von Radioaktivität meist kurzlebiger Substanzen nach außen abgegeben. In speziellen Reinigungskreisläufen werden sowohl flüssige als auch gasförmige Stoffe zunächst eingefangen und analysiert. Wenn es sich dabei um kurzlebige Radioaktivitäten handelt, so ist es gefahrlos, sie in geringen, genau vorgeschriebenen Maximalmengen an das Abwasser oder an die Abluft abzugeben. Das Ausmaß, in dem das geschehen kann, ist durch die Strahlenschutzverordnung genau festgelegt.

Die Tatsache aber, daß tatsächlich kleine Mengen abgegeben,

diese jedoch von den Behörden kontrolliert werden, führt in der Bevölkerung wiederum zu einer gewissen Unsicherheit. Inzwischen hat sich durch die Erfahrung längst ergeben, daß das Leben in der Umgebung eines solchen Kraftwerkes keinerlei zusätzliche Gefahren in sich birgt.

Der Betrieb der Kernreaktoren und die Einrichtung eines Brennstoffkreislaufes hat hierzulande eine Reihe zusätzlicher Vorgänge und Maßnahmen zur Folge, die gleichfalls der Handhabung und Überwachung bedürfen. Hierzu gehört zunächst jeglicher Transport von Kernbrennstoffen zwischen den Verarbeitungs- und Verbrauchsstellen. Ausgebrannte Kernbrennstoffe müssen zu den Wiederaufarbeitungsanlagen gebracht werden, was unter besonderen Sicherheitsmaßnahmen zu geschehen hat.

Gefahrenquellen sind selbstverständlich auch die Betriebe, in denen durch Verarbeitung der Kernbrennstoffe Brennelemente hergestellt werden. Schließlich bergen die Anlagen zur Wiederaufarbeitung ausgebrannter Kernbrennstoffe und die Urananreicherungen gewisse Risiken.

Für alle diese Vorgänge, die erst mit zunehmendem Einsatz der Kernenergie an Bedeutung gewinnen, werden, soweit sie noch nicht vorliegen, Sicherheitsvorschriften in dem Maße erarbeitet und weiterentwickelt, wie sie der Bedeutung der Strahlungsgefahr entsprechen. Dabei müssen naturgemäß stets auch Leichtfertigkeit, Sabotage und verbrecherische Absichten mit in Rechnung gestellt werden.

Kapitel 15
Energienotstand in der Welt

Während die Welt in den Oktobertagen des Jahres 1973 den dramatischen Ablauf der neuen Phase des Nahost-Krieges, des sogenannten Yom-Kippur-Krieges, verfolgte, wurde sie von einem Ereignis überrascht, mit dessen Eintreten sie nicht gerechnet hatte.

In der Erregung des Krieges sperrten die arabischen Ölländer einem großen Teil der westlichen Welt wie auch den Japanern ganz oder teilweise die Ölzufuhren. Sie drosselten ihre Förderung und erhöhten drastisch die Preise. Dabei wurden zwischen den Kundenländern Unterschiede gemacht, je nachdem wie diese sich nach Meinung der Araber gegenüber Israel verhalten hatten. In Westeuropa waren die Niederlande am schwersten betroffen. Ihnen wurde die Zufuhr zunächst vollständig abgeschnitten, obwohl sie eigentlich recht wenig in den Krieg und seine Begleitumstände verwickelt waren. Darunter litt insbesondere der Hafen von Rotterdam, der als größter Umschlagplatz in der Welt für die Versorgung der europäischen Nachbarländer Bedeutung hat. Auch die USA waren lange Zeit vom Ölboykott betroffen.

Dieses Ereignis löste in der Welt Unruhe und Schrecken aus. Bewirtschaftungsmaßnahmen für Heizöl und Benzin, Verkehrseinschränkungen und andere Improvisationen waren die Folge. Weite Teile der Welt, insbesondere die Industrieländer, wären in wenigen Wochen in eine Katastrophe hineingekommen, wenn die Ölländer nicht bald wieder eingelenkt hätten. Damit aber wurde keineswegs der alte Zustand hergestellt. Es blieb die Erhöhung der Ölpreise auf ein Mehrfaches. Es blieb auch der Schrecken, den die drohende Katastrophe ausgelöst hatte. Von jetzt ab war zu befürchten, daß solche Willkürakte sich jederzeit wiederholen könnten.

Wieviel Energie brauchen wir?

Kurz bevor diese Ölkrise hereinbrach, hatte die Bundesregierung erstmals in der Nachkriegszeit ein Energieprogramm bekanntgegeben. Darin wurde festgelegt, wie sich der deutsche Energiebedarf langfristig, d.h. zunächst bis zum Jahre 1985, entwickeln und aus welchen Quellen er gedeckt werden sollte. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte man sich zwar immer wieder über einzelne Zweige der Energiewirtschaft Gedanken gemacht. Ein zusammenfassender Wirtschaftsplan solcher Art war vorher jedoch niemals aufgestellt worden. Im Deutschland der Nachkriegszeit wurde alles vermieden, was nach Vierjahresplan aussah.

Die deutsche Energieversorgung hatte sich in den Jahren des Wiederaufbaus zunächst in den alten Bahnen bewegen müssen. Mehr als 90% des Bedarfes an Primärenergie wurde aus Stein- und Braunkohle gedeckt, wobei das rheinisch-westfälische Industriegebiet, zu dem später wieder die Saar hinzukam, als einziger Kohleproduzent verblieben war. Die Steinkohlenförderung betrug dort bei Kriegsende etwa 140 Millionen Tonnen. Braunkohle wurde in Mengen von etwa 20 Millionen Jahrestonnen gefördert. Durch die Abtrennung der Ostgebiete waren wertvolle Lagerstätten im Gebiet der heutigen DDR und in Polen, im ehemaligen Oberschlesien, verlorengegangen.

Die Steinkohlenförderung an der Ruhr unterlag in den letzten Jahrzehnten ebenso wie die Stahlindustrie starken politischen Einflüssen. Das hatte sich schon am Ende des Ersten Weltkrieges gezeigt. Im Jahre 1951 wurde mit dem Zusammenschluß der Montanunion innerhalb der sechs späteren EWG-Länder eine gemeinsame Kohlepolitik möglich. Die Steinkohlenförderung mußte sich von nun an nach den internationalen Konkurrenzbedingungen richten und ließ sich auch in Deutschland nur mit erheblichen Subventionen weiterführen. Sie erreichte im Jahre 1960 noch einmal die Höhe des Kriegsendes, um dann bis in die Gegenwart auf 90–100 Millionen Jahrestonnen abzusinken.

Auch bei der Braunkohle gingen die größten Vorkommen mit der Abtrennung der DDR verloren. Dort war besonders im Krieg die Braunkohle verstärkt erschlossen worden. Wegen ihres hohen

Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen war sie besonders wichtig für die Erzeugung von Schwelprodukten und als Rohstoff für die Herstellung von Benzin.

Das im westdeutschen Raum verbliebene Vorkommen zwischen Köln und Aachen hatte im wesentlichen zur Energieerzeugung gedient sowie zur Herstellung von Braunkohlenbriketts für den Hausbrand.

Die Erdölvorkommen waren gering. Die Förderung betrug 1950 ca. 1 Million Tonnen und 1960 ca. 5,5 Millionen Tonnen. Erdgas gab es im Raum von Bentheim an der holländischen Grenze. Von dort ging eine Leitung zu den Chemischen Werken Hüls in Marl, wo daraus über Acetylen synthetischer Kautschuk hergestellt wurde.

Ölschiefer gab es in geringen Mengen in Hessen und Württemberg. Die Vorkommen waren seit langem bekannt. Ihre Nutzung war aber gänzlich unwirtschaftlich.

Die große Zeit des Öls

Das nahezu vollständige Fehlen von Erdöl und Erdgas hatte in der Autarkiezeit zu sehr erfolgreichen Bemühungen geführt, auf verschiedenen Wegen eine Erzeugung von etwa 4,5 Millionen Jahrestonnen Benzin aus Steinkohle und Braunkohle zu erzielen. Diese Kapazitäten wurden, soweit sie nicht durch Kriegseinwirkungen zerstört waren, noch eine Weile verwendet und, da sie mit den Erdöl verarbeitenden Raffinerien nicht konkurrieren konnten, einige Jahre durch steuerliche Begünstigungen gestützt.

Die deutsche chemische Industrie basierte auf Steinkohlenteer und dem Acetylen, das man im wesentlichen aus im Elektroofen aus Kalk und Koks erzeugtem Calciumcarbid gewann. Auf dieser Grundlage entwickelte die chemische Industrie Deutschlands die Synthese des Kautschuks, die ersten Kunststoffe und synthetischen Fasern und schuf die Acetylenchemie, von der eine Großzahl von Vor- und Zwischenprodukten der chemischen Industrie ausging. In der Mitte der fünfziger Jahre drohte der westdeutschen Wirtschaft eine erste Energielücke, die auf der alten Grundlage von Kohle nicht mehr geschlossen werden konnte. Ein Ausweg wurde

mit großer Selbstverständlichkeit durch Import von Erdöl und Erdgas gefunden. Dank der Aktivität großer internationaler Erdölgesellschaften, die heute so stark im Mittelpunkt der Kritik stehen, entwickelte sich eine internationale Ölwirtschaft in einem Ausmaß, das erstmalig in der Nachkriegszeit mit ihrem Bedürfnis nach Frieden und Wohlstand denkbar war.

Mit Hilfe neuer Methoden der Prospektierung wurde in den erdölhöffigen Ländern, insbesondere im Nahen Osten, aber auch an vielen anderen Stellen der westlichen Welt die Kenntnis von den Erdölvorkommen um ein Vielfaches erweitert. Neue Methoden der Bohrung, vor allen Dingen auch vor den Meeresküsten, erweiterten die Förderungsmöglichkeiten. Ein hochentwickeltes System von Rohrleitungen und Tankern machte das Erdöl weiten Teilen der Welt zugänglich. Für Westdeutschland war es von großem Wert, daß man das Öl von den Seehäfen mit Leitungen in das Landesinnere transportieren konnte, wo nun Raffinerien in der Nähe der Verbraucher errichtet wurden.

So gewöhnte man sich allmählich daran, alle fehlenden Energiemengen in Form von Erdöl und Erdgas hinzuzukaufen. Es schien selbstverständlich, daß Erdöl und seine Verarbeitungsprodukte billig und in unbegrenzter Menge vorhanden waren. In allen Bereichen der deutschen Volkswirtschaft und auch in unserem Privatleben wurden die Bequemlichkeiten der neuen Lebensgewohnheiten gerne übernommen, sobald die internationale Situation es gestattete. Die Landwirtschaft wurde vollständig modernisiert. Der Verkehr stellte sich auf Benzin und Dieselöl um.

Die Steinkohle geht zurück

Die europäische Steinkohlenförderung in den alten Abbaugebieten konnte diese Konkurrenz schon aus wirtschaftlichen Gründen nicht bestehen. Trotz erheblicher staatlicher Subvention in allen Ländern ging die Förderung zurück. Es fehlte insbesondere in Deutschland an Arbeitskräften. So beschränkte sich die Verwendung der Steinkohle allmählich auf die Erzeugung von Koks für die Stahlindustrie sowie auf die Herstellung elektrischer Energie in Großkraftwerken.

Als nach wie vor wertvoll und allen modernen Ansprüchen gewachsen erwies sich die deutsche Braunkohlengewinnung. Neuerschlossene Braunkohlenvorkommen in einer Tiefe von 300–400 m und mit einer Mächtigkeit von ca. 80 m werden mit modernen Fördermethoden im Tagebau abgebaut. Riesige Bagger und Transporteinrichtungen mit Förderleistungen von 100 000 Tonnen und mehr pro Tag sowie die Verbrennung der wasser- und aschehaltigen Rohbraunkohle an Ort und Stelle in großen Anlagen führten dazu, daß auf dieser Grundlage die billigste denkbare Energieversorgungsmöglichkeit entstand, die auch heute noch in begrenztem Umfang erweitert werden kann.

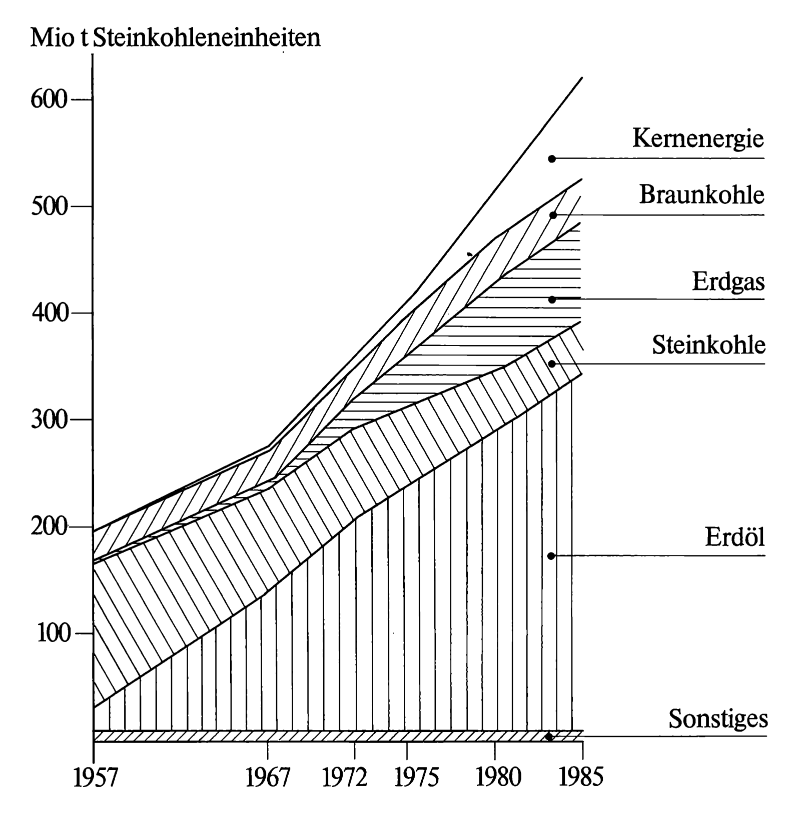
Erdöl wurde trotz intensiver Bemühungen in den westeuropäischen Ländern zunächst nur in geringen Mengen gefördert. Erst in letzter Zeit sind im nördlichen Teil der Nordsee und im Schelf vor den Küsten von Großbritannien und Norwegen große Vorkommen entdeckt worden.

Mit der Auffindung von Erdgas waren die Westeuropäer glücklicher. In Italien und Südfrankreich und auch in Holland wurden große Lagerstätten gefunden. Leider war die Bundesrepublik auch hier wiederum benachteiligt. Erdgas wird bis heute nur in geringen Mengen in Bayern, Hessen und in Norddeutschland gefunden. Die Wasserkräfte Westeuropas sind schon seit langem so stark ausgebaut, daß zusätzliche wirtschaftliche Möglichkeiten kaum noch bestehen. Die deutsche Wirtschaft wird also, abgesehen von ihrem bescheidenen Steinkohlen- und Braunkohlenabbau, bezüglich ihrer Versorgung mit Primärenergie, soweit es die fossilen Brennstoffe betrifft, auf Importe angewiesen bleiben.

Auch die chemische Industrie der Bundesrepublik Deutschland, die einen großen Teil des Exports bestreitet, hat ihre neue Rohstoffgrundlage längst im Erdöl und Erdgas gefunden und ist nicht zuletzt dadurch international wettbewerbsfähig geblieben.

Die Kernenergie setzt ein

Als die friedliche Nutzung der Kernenergie im Jahre 1955 auf die Bundesrepublik Deutschland zukam, war es klargeworden, daß man einige Zeit benötigen würde, bis über diese neue Energie-



Energieprogramm 1973 der Bundesrepublik Deutschland

quelle wirtschaftlich verfügt werden könne. Die sogenannten Atomweisen haben im Rahmen von Euratom erstmals im Jahre 1957 die Kernenergie ernstgenommen und ihr einen größeren Stellenwert im Rahmen der Energieversorgung Westeuropas zugewiesen.

Das Energieprogramm der Bundesregierung von 1973, das ein Jahr später noch einmal geringfügig abgeändert wurde, gab zum erstenmal eine Vorausschau bis zum Jahre 1985. Das Programm ging davon aus, daß der Primärenergieverbrauch, d.h. die Gewinnung von Wärme aus den auf der Erde zur Verfügung stehenden Energiequellen, unabhängig von der Verwendungsart auch in Zukunft um 4–5% pro Jahr steigen würde. Dabei ist berücksichtigt,

daß innerhalb dieses Gesamtbedarfes die Umwandlung in elektrische Energie erheblich zunehmen wird. Diese Umwandlung ist bisher nur mit einem Wirkungsgrad von etwa 35–45% möglich, wobei der Rest als Wärme nur zum Teil genutzt werden kann.

Die steigende Verwendung elektrischer Energie verläuft parallel mit der Hebung des allgemeinen Lebensstandards. Elektrische Energie läßt sich leicht zum Verbrauchsort transportieren und ist sauber und umweltfreundlich im Gebrauch. Elektrisch angetriebene Haushaltsmaschinen aller Art erleichtern das menschliche Leben. Der Lebensstandard eines Volkes läßt sich geradezu am Verbrauch elektrischer Energie ablesen. Er ist in den Vereinigten Staaten noch immer etwa doppelt so groß wie in den Industrieländern Westeuropas einschließlich der Bundesrepublik Deutschland.

In jenem Energieprogramm wird davon ausgegangen, daß Erdöl und Erdgas künftig nur noch zu einem relativ kleineren Teil den steigenden Energiebedarf decken werden. Statt dessen soll der Anteil der Kernenergie, der in der Bundesrepublik Deutschland jetzt erst bei 3% liegt, bis zum Jahre 1985 auf etwa 15% steigen. Es wurde schon 1973 richtig erkannt, daß sich der Erdöleinsatz nicht beliebig steigern läßt. Die Ölkrise brachte eine jähe und überraschende Bestätigung.

Supertanker statt Suezkanal

Einen ersten Warnschuß hatte die Welt übersehen, als General Nasser im Jahre 1956 den Suezkanal seinen ursprünglichen Eigentümern wegnahm. Die zunehmenden politischen Spannungen im Jahre 1967 führten zu einer vollständigen Schließung des Kanals. Die Industrienationen fanden noch einmal einen Ausweg im Bau von Supertankern mit Größen bis zu 500000 Tonnen, welche das Kap der Guten Hoffnung umfahren, was den Suezkanal zumindestens für den Erdöltransport unnötig macht. Diese Entwicklung hat den Erdöltransport in der ganzen Welt in neue Bahnen gelenkt und auch die Frachtkosten sehr verringert.

Schon lange vor dem Ausbruch der eigentlichen Krise hatten die erdölfördernden Länder des Nahen Ostens damit begonnen, sich

ihrer wirtschaftlichen Macht bewußt zu werden. Nach ihrer Entlassung aus dem kolonialen Status, in dem sie sich zumeist befunden hatten, dem sie andererseits aber auch ihren Wohlstand durch die Ölförderung verdankten, trat zu dem sich entwickelnden Nationalstolz schnell die Unzufriedenheit über die Abhängigkeit von den internationalen Erdölgesellschaften und von der allgemeinen Ölpolitik. Diese Erdölgesellschaften hatten große Mittel eingesetzt, um die Erdölquellen zu erschließen, aber sie waren nun Inhaber langjähriger Konzessionen. Sie waren die Besitzer der Verarbeitungsstätten und der Tankerflotten und diktierten den Erlös, der den Ursprungsländern zufloß, ebenso wie den Abgabepreis in den Verbrauchsländern.

Zweifellos war dieser Abgabepreis jahrzehntelang sehr niedrig gehalten worden, um das eingesetzte Kapital schnell zurückzuerhalten und gut zu verzinsen. Auf dem Weg vom Rohstoff zum Verbrauchsprodukt fielen nicht nur für die Erdölgesellschaften große Gewinne an; auch die Länder, in denen die Produkte verarbeitet und verbraucht wurden, erhoben zusätzliche Steuern, die insbesondere in der Bundesrepublik Deutschland im Falle des Benzins den Herstellungspreis weit übersteigen, aber auch bei allen anderen Verwendungszwecken dem Staat beträchtliche Einnahmen bringen.

Erdölbesitz wird unberechenbar

In dem Maße, wie die Selbständigkeit der Öllländer zunahm, gab es nationale Tendenzen, welche das Recht der langfristigen Konzessionen bestritten und schließlich Schritt für Schritt zu gänzlichen oder teilweisen Enteignungen führten. Die Heimatländer dieser internationalen Erdölgesellschaften hatten längst nicht mehr die Macht, diese Enteignung zu verhindern. Um den Einfluß der Öl-länder zu verstärken, wurde im Jahre 1960 die OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries) gegründet, zu der nicht nur Staaten des Nahen Ostens, sondern z.B. auch Nigeria, Venezuela und Indonesien gehören.

Aus solcher Machtstellung heraus kam es schließlich zur Ölkrise, d.h. zur teilweisen Drosselung der Lieferungen und zu einer ca.

vierfachen Steigerung des Ölpreises. Man kann noch nicht absehen, welche Folgen dieser Schritt haben wird. Wenn es wieder einmal und kurzfristig zu einer willkürlichen Drosselung kommt, sind schwere Auseinandersetzungen, welche die ganze Welt erfassen können, nicht undenkbar. Wenn die Ölpreise so hoch bleiben, wie sie jetzt sind, so kommt es zu Erschütterungen des internationalen Geldverkehrs und der Zahlungsbilanzen. Diese Folgen sind jetzt schon sichtbar.

Aber ganz unabhängig von dem zukünftigen Verhalten der Erdölländer und den mittelbaren Konsequenzen auf die Weltwirtschaft hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, daß zuviel Erdöl und Erdgas verbraucht wird, und daß man die Bodenschätze, die in Jahrmillionen entstanden sind, nicht durch Jahr für Jahr steigenden Konsum in wenigen Jahrzehnten vernichten darf.

Einem Verbrauch von 2 Milliarden Tonnen Erdöl stand im Jahre 1972 ein gesicherter Vorrat von ca. 90 Milliarden Tonnen Erdöl gegenüber. Man konnte also annehmen, daß die Erdölvorräte bei ständig steigendem Bedarf noch 40–50 Jahre reichen würden. Es werden zwar noch jetzt ständig neue Vorkommen entdeckt, aber mindestens im gleichen Maße stieg in den letzten Jahrzehnten die Förderung. Es ist abzusehen, wann dieser Zustand zu einer Erschöpfung der Lagerstätten führen wird.
Die Erdölländer haben recht, wenn sie auf diese Situation zwingend hinweisen und darüber hinaus geltend machen, daß sie dann, wenn ihre eigenen Lagerstätten erschöpft sind, in ihrem nationalen Lebensraum vor dem Nichts stehen.

Es geht also nicht nur um die Aufgabe, das Gleichgewicht in der Weltwirtschaft, das durch teilweise Verknappung und Überteuerungen gestört ist, wieder herzustellen. Man muß jetzt langfristig und endgültig zu einem Energieplan in der Welt kommen, der die Menschheit vor unheilbarem Schaden durch Erschöpfung ihrer Energiequellen bewahrt. Es wird vielleicht einmal die einzige glückliche Konsequenz aus der Willkür der Ölkrise sein, daß die Menschen den Ernst der Situation erkannt haben und hoffentlich nicht wieder vergessen.

Gute Vorsätze nach der Krise

Die Völker haben nunmehr damit begonnen, ihre jeweils unterschiedlichen Situationen zu überprüfen, um danach zu spezifischen Lösungen zu kommen. Am aussichtslosesten ist dabei die Lage jenes Teils der Dritten Welt, der weder über Rohstoffe noch über Wissen und Können verfügt, sein Schicksal selbst zu gestalten. Hier wird ohne internationale Hilfe eine Katastrophe nicht vermieden werden können. Auch die reichen Ölländer, die zum Teil noch unter günstigen Verhältnissen leben, werden von den Rohstoffen und von dem Geld, das sie dafür erlösen, auf Dauer nicht existieren können. Es wächst auch dort die Erkenntnis, daß die Isolierung auf einen kurzfristigen und begrenzten Reichtum inmitten einer allgemeinen Katastrophe keine Zukunft sichert.

Die Lösung dieses Energieproblems muß von dem Teil der Menschen kommen, der über die geistige Fähigkeit, die technischen Kenntnisse und über das industrielle Potential verfügt, die Energiequellen richtig zu beurteilen, zu verwerten und seine Lebensweise dementsprechend zu gestalten. Die Wege, welche dabei zu beschreiten sind, werden sehr verschieden sein. Je nach den eigenen Rohstoffverhältnissen und nach dem Verbrauch wird man mehr oder weniger kurzfristig nach Lösungen suchen müssen.

Am besten schneiden wohl die Amerikaner ab, die einerseits einen hohen Stand der Technik erreicht, andererseits in ihrem Lande noch große Möglichkeiten der Energiegewinnung haben. Amerika hat jetzt begonnen, die großen Ölfelder in Alaska aufzuschließen. Außerdem besitzt es gewaltige Vorräte an Steinkohle, an Braunkohle und auch an bisher kaum genutzten Ölsanden.

Amerika wird schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit in der Lage sein, den Import von Primärenergie wesentlich zu vermindern. Das wird zwar sehr große Kapitalien erfordern, aber, wenn der Entschluß einmal gefaßt ist, zur weitgehenden Unabhängigkeit führen. Ähnliche Verhältnisse liegen in der Weite der Sowjetunion vor, wo längst nicht alle Öl- und Erdgasquellen prospektiert und erschlossen sind. Gemeinsam aber ist allen Nationen die Notwendigkeit, eine Bilanz über die vorhandenen Energiequellen zu zie-

hen und daraus die Antwort auf die Frage abzuleiten, wo sie den eigenen Weg in die Zukunft finden.

Für die Bundesrepublik Deutschland ist die Situation in dem Energieprogramm der Bundesregierung verhältnismäßig klar und übersehbar umrissen. Unser Vorrat an fossilen Brennstoffen ist bekannt. Er kann durch noch so große Anstrengungen kaum erhöht werden. Wenn wir damit haushalten wollen und müssen, so ist es notwendig, diese Rohstoffe für die wichtigsten Verwendungszwecke reserviert zu halten. Der Zukauf von Erdöl und Erdgas darf nicht mehr in dem Maße steigen wie bisher. Erdöl und Erdgas müssen langfristig auf die Verwendungszwecke beschränkt bleiben, bei denen sie nach dem jeweiligen Stand des Wissens nicht durch andere Energiequellen ersetzt werden können.

Kopfzerbrechen um die Energie

Das Problem konzentriert sich auf zwei Fragestellungen:

1. Können wir den Energieverbrauch ohne Hemmung der Entwicklung und ohne Senkung des Lebensstandards dadurch vermindern, daß wir die zur Verfügung stehenden und hinzugekauften Energiemengen nutzbringender anwenden? Können wir Energie sparen?
2. Können wir die verbleibende Lücke durch alte und neue Energiequellen, die jetzt nicht mehr oder noch nicht genutzt werden, verkleinern?

Seit der Zuspitzung der Ölkrise im Jahre 1973 sind unzählige Vorschläge gemacht worden, wie man Energie sparen kann, indem man entweder weniger verbraucht oder das Vorhandene sparsamer verwendet. Bei der sparsamen Verwendung gibt es viele Möglichkeiten zwischen der Rückkehr zu mittelalterlichen Verhältnissen, wie sie im Deutschland der Nachkriegszeit schon einmal praktiziert werden mußte, und der Verschwendung in unserer Wohlstandsgesellschaft. Die Lichtpracht unserer nächtlichen Städte und die in Flutlicht getauchten Sportplätze sind solche Ausdrucksformen des Lebensstandards, die natürlich große Energiemengen verschlingen.

Die Heizung der Wohnungen in allen, auch den vielfach unbenutzten Zimmern, die Klimatisierung der Büroräume, der Wohnungen und der Automobile sind Fragen der Wirtschaftlichkeit und des Lebensstils. In den Vereinigten Staaten, wo diese Wohntechnik sehr viel stärker entwickelt ist, wird zur Kühlung der Wohn- und Arbeitsräume im Sommer mehr Energie aufgewendet als im Winter zum Heizen. Die Deckung dieses Energiebedarfs macht in der Sommerzeit heute schon Schwierigkeiten.

In dem gemäßigten Klima in Mitteleuropa ist diese Klimatisierung vielfach ein angenehmer aber sehr teurer Luxus. Es hat sich auch jetzt schon gezeigt, daß der Warnschuß vom Herbst 1973 tatsächlich dazu führte, den Energieverbrauch einzuschränken, ohne daß dabei unser Lebensstandard wesentlich gelitten hat. Es gibt heute schon viele Beispiele von derart unsinnigem Luxus. Wenn in einem Luftkurort wie Königstein im Taunus eine Schule einerseits mit Räumen ohne Fenster, andererseits mit Klimaanlage eingerichtet wird, so könnte man wohl folgern, daß hier die Schwelle des erwünschten Wohlstandes schon überschritten ist.

Sparsamkeit im Verbrauch von Energie wird in Krisenzeiten zu einer nationalen Verpflichtung. Langfristig aber wird Sparsamkeit allein zur Lösung des Energieproblems in einer modernen, freien Welt nicht genügen. Die größtmögliche Verbesserung der Ausnutzung unserer Wärmequellen, ganz gleich welchen Ursprung sie haben, würde erreicht werden, wenn es gelänge, den Wirkungsgrad der Umwandlung von Wärme in kinetische Energie zu erhöhen.

Trotz großer Fortschritte, die seit der Erfindung der Dampfmaschine am Ende des 18. Jahrhunderts bis heute sowohl in der Entwicklung der dampferzeugenden Kessel als auch in der Ausnutzung des Dampfes zunächst in Kolbenmaschinen, später in Dampfturbinen erzielt wurden, liegt der Wirkungsgrad von Dampfkraftanlagen bei gut 40% und in Spitzenkraft-Gasturbinen bei 35% der eingesetzten Energie. Verbesserungen sind nur noch bei den Gasturbinen denkbar. In ähnlicher Größenordnung liegt der Ottomotor unserer Automobile, der trotz aller Vervollkommnung doch nur einen Wirkungsgrad von 28% erreicht. Auch der Dieselmotor, der im wesentlichen bei unseren Lastkraftwagen

verwendet wird, liegt bei 38%. Die modernen Strahltriebwerke unserer großen Flugzeuge liegen bei 45%.

Der überwiegende verbleibende Anteil der Wärme wird an die Atmosphäre oder an das Wasser der Flüsse abgegeben.

Viel Wärme geht verloren

Eine grundsätzliche Verbesserung in der Ausnutzung fossiler Brennstoffe könnte in der Entwicklung des Brennstoffelementes gefunden werden, dessen Grundgedanke seit vielen Jahrzehnten bekannt ist. Durch anodische Oxidation von großoberflächigen oder gasförmigen Brennstoffen in einer galvanischen Kette läßt sich bei normaler Temperatur unmittelbar – ähnlich wie aus einer elektrischen Batterie – Strom entnehmen. Der Wirkungsgrad einer solchen Einrichtung liegt bei ca. 65%. Trotz ständiger Bemühungen ist dieser Prozeß jedoch über kleine Arbeitseinheiten nicht hinausgekommen, da sich die elektrischen Entladungen an den Elektroden mit zu geringer Geschwindigkeit vollziehen und die Energiedichte deswegen zu klein ist.

Wir werden also auch weiterhin eine ungeheure Energieverschwendung betreiben, für deren Behebung eine kurz- oder mittelfristige Lösung sich noch nicht anbietet. Nur ein geringer Teil dieser Abwärme kann genutzt werden, wobei immer daran erinnert werden muß, daß die Apparaturen, welche der Nutzbarmachung dieser Abwärme, d.h. dem Wärmeaustausch dienen, um so voluminöser und kostspieliger werden, je kleiner die Temperaturdifferenz ist.

Die wirtschaftliche Konsequenz gilt auch für alle anderen Bemühungen, die Nutzung der Abwärme zu verbessern. Immerhin gibt es zahlreiche solcher Möglichkeiten, die immer wieder bearbeitet werden müssen.

Neue Energiequellen

Die Frage, ob die Lücke in unserer Energieversorgung durch andere Quellen geschlossen werden kann, wird auf der ganzen Welt mit großer Intensität verfolgt. Am nächsten liegt die Heranziehung

der Sonnenenergie, welche die Voraussetzung allen Lebens auf unserer Erde darstellt und in nahezu unbegrenztem Maße zur Verfügung steht. Durch die Entwicklung der Solarbatterien der Erdsatelliten und der Weltraumfahrzeuge, die mit Sonnensegeln die Wärmestrahlung auffangen und in elektrische Energie für den Betrieb umwandeln, scheint das Problem im Prinzip gelöst zu sein.

Wo weite, von der Sonne intensiv und über einen großen Teil des Jahres hinweg bestrahlte Flächen vorhanden sind, bietet sich eine Möglichkeit an, deren Verwirklichung eingehend betrieben werden muß. Dies wird aber den westlichen Industrieländern, so auch Deutschland, kaum eine grundsätzliche Lösung bringen. Jede Wirtschaftlichkeitsüberlegung wird bei uns zeigen, daß das Ausmaß der Sonneneinstrahlung in unseren Breitengraden nicht ausreicht, und daß man sie nur in kleinen Einsatzgebieten nutzen kann.

Eine andere Methode wird neuerdings darin gesehen, daß aus dem heißen Erdinnern Wärme an die Oberfläche gebracht wird: die Erdwärme. Auch hier ist keine kurz- oder mittelfristige ökonomische Realisierung zu sehen.

Erlahmte Wasserkraft

Die Wasserkraft ist eine der ältesten Energiequellen der Menschen. Es gibt auf unserer Erde zweifellos noch eine nahezu unerschöpfliche Zahl von örtlichen Möglichkeiten für eine solche Nutzung, die, wo immer es angebracht ist, ausgebaut werden sollte. Es liegt eine große Aufgabe der Industrieländer darin, solche Energiequellen zu suchen und bei ihrer Erschließung zu helfen. In den alten Industrieländern Europas sind diese Chancen freilich fast erschöpft.

Die Grenzen der Wirtschaftlichkeit sind immer da erreicht, wo das nutzbare Gefälle des Wassers zu klein ist und deshalb die Wassermenge sehr groß sein muß, um überhaupt eine Leistung zu erreichen. Deswegen sind auch die Bemühungen wenig erfolgversprechend, aus dem Höhenunterschied beim Wechsel zwischen Ebbe und Flut Energie zu gewinnen. Die maximalen Höhenunter-

schiede von 7 bis 8 m an der europäischen Nordküste erfordern gewaltige Wasserbauten, welche die Wirtschaftlichkeit allzusehr belasten, wie sich in Nordfrankreich an einem großangelegten Versuch ergeben hat.

Es bleibt eine weitere sich darbietende Naturkraft, die genutzt werden kann: der Wind. Windmühlen können mit den heutigen aerodynamischen und technischen Erkenntnissen sehr viel wirkungsvoller gestaltet werden, als es den Menschen früher möglich war. Überall dort, wo eine hohe und nahezu gleichmäßige Windgeschwindigkeit gegeben ist und die örtlichen Verhältnisse es gestatten, große Apparaturen in der Landschaft zu errichten, mag darin eine Teillösung gefunden werden. In der Bundesrepublik Deutschland mit überwiegend Mittelgebirgslandschaft wird auch das eine Ausnahme sein.

Man muß also nach gewissenhafter und nüchterner Prüfung der Situation in der Bundesrepublik Deutschland schließen, daß eine Möglichkeit, den Mangel an Eigenvorkommen von fossilen Brennstoffen zu kompensieren, nur in der Entwicklung der Kernenergie liegen kann. Sonst müßte sich Deutschland durch immer stärkeren Zukauf und die daraus folgende wirtschaftliche Belastung in eine endgültige Abhängigkeit und Unsicherheit begeben, welche auf lange Zeit Arbeitsplätze und Wohlstand gefährden würden.

Kapitel 16
Einziger Ausweg – Kernenergie

Gelegentlich eines Parlamentarischen Abends des Deutschen Atomforums in Bonn im Oktober 1973 trug Ministerialdirektor Ulf Lantzke den Entwurf des soeben entstandenen Energieprogramms vor. Die Zuhörer – Parlamentarier, Gäste und Mitglieder des Atomforums – hörten aus berufenem Munde eine Analyse der Energiesituation, die von der Hektik der bevorstehenden Ölkrise noch nicht beeinflußt war.

Der Entwurf kam überzeugend zu dem Ergebnis, daß in Deutschland nur die Kernenergie die immer größer werdende Lücke zwischen Energiebedarf und Deckung schließen könnte. Er entwickelte zugleich genaue Vorstellungen über die Probleme, die noch gelöst werden mußten.

Die Teilnehmer vernahmen mit Befriedigung, welcher Vorrang der Kernenergieentwicklung jetzt gegeben wurde. Sie empfanden Genugtuung über die Anerkennung der vielen Mühe, die sie dafür aufgewandt hatten. Andererseits aber mußten ehrliche Zweifel daran aufkommen, daß man der großen volkswirtschaftlichen Aufgabe gerecht werden könnte.

Es geschah zum erstenmal seit den Anfängen der Kernenergie, daß die Bundesregierung diese Energiequelle so positiv und selbstverständlich in realistische Überlegungen einbezog. Bisher hatte es immer langer Diskussionen bedurft, um die Zustimmung zu den jeweiligen Atomprogrammen und ihrem Geldbedarf zu erreichen. Auch jetzt stand die längst fällige Genehmigung des vierten Atomprogramms noch aus. Man hatte zwar bei den Verhandlungen schließlich immer wieder eine positive Haltung eingenommen. Aber die wissenschaftlichen und technischen Pläne waren doch stets nur als ein Forschungsprogramm betrachtet worden, das auch viele Widersacher auf den Plan rief.

Jetzt kam aus dem gleichen Wirtschaftsministerium, das einmal im Jahre 1954 unter Ludwig Erhard die ersten Aktivitäten zugunsten der Kernenergie ausgelöst hatte, ein Energieprogramm, das diese neue Energiequelle als gegeben und notwendig in seine Pläne einbezog.

Winnacker – Präsident des Deutschen Atomforums – am gleichen Abend: »Demgegenüber – gemeint sind damit die vielen Widerstände – können wir feststellen, daß nach dem jetzigen Stand der Entwicklung Kernenergiekraftwerke errichtet werden können, daß sie wirtschaftlich sind, und daß die für sie erforderlichen Voraussetzungen, die Beschaffung des Urans, die Anreicherung des Urans, die Herstellung der Brennelemente und auch das Reprocessing, in wirtschaftlicher Weise gelöst werden können. Die Technik ist in unserem Lande so entwickelt, daß wir auf eigenen Erfahrungen fußend in enger internationaler Zusammenarbeit alle Voraussetzungen dafür liefern können.«

Organisatorische Unruhe

Tatsächlich war in knapp zwei Jahrzehnten viel erreicht worden, worauf man solche Folgerungen gründen konnte. Aber das kraftvolle Zusammenwirken der ersten Jahre zwischen Staat, Wissenschaft und Wirtschaft bestand nicht mehr. Gerade in der letzten Zeit hatte sich in der Bundesrepublik Deutschland vieles geändert. Davon war die Kernenergie ganz besonders stark betroffen. Im Drange der politischen Ereignisse und vieler organisatorischer Neuerungen war sie auf ein Nebengleis geraten.

Der »Machtwechsel«, den der neugewählte Bundespräsident Gustav Heinemann im Frühjahr 1969 ankündigte, und der Regierungswechsel im November 1969 bedeuteten weit mehr als eine Ablösung von Parteien in der Regierungsverantwortung. Diese Veränderung wirkte sich besonders stark auf die Gestaltung der Bildungs-, Forschungs- und Wissenschaftspolitik aus.

Schon in der vorangegangenen Regierungsperiode der Großen Koalition in den Jahren 1967 und 1968 war die Erkenntnis gewachsen, daß an deutschen Schulen und Universitäten vieles erneuerungsbedürftig war. Deswegen hatte schon im Sommer 1969

der Bundestag dem damaligen Bundesminister für wissenschaftliche Forschung, Gerhard Stoltenberg, Kompetenzen und Aufträge für ein Hochschulrahmengesetz erteilt.

Der Wille nach Reformen im Universitätsbetrieb, der dann sehr schnell zu tiefgreifenden Änderungen des Lebens an unseren Universitäten führte, erwuchs aus dem elementarem Empfinden einer neuen Generation, die nach dem Krieg entstandene, z.T. auch wiederentstandene hierarchische Ordnung in Frage zu stellen und umzugestalten. Dieses Bestreben nach Reformen aller Art nach einer ca. 20jährigen Periode des konsequenten und folgerichtigen Wiederaufbaus mußte zu Spannungen führen, als mit dem Regierungswechsel neue politische Kräfte zur Macht kamen.

Dieser Stimmungswechsel der akademischen Jugend war nicht auf Deutschland beschränkt. Die Studentenunruhen in Paris im Mai 1968 hatten in Frankreich die Position von General de Gaulle so erschüttert, daß er sein altes Ansehen nie wieder gewinnen konnte. In den Vereinigten Staaten erhob sich die Jugend gegen die Autorität des Präsidenten und gegen den Vietnamkrieg. In diesen Ländern war die Aktivität der Jugend auf eine Auseinandersetzung mit dem Staat selbst gerichtet.

Kernenergie als »Unterabteilung«

In Deutschland wandten sich die Kritik und der Wille zu Neuerungen zunächst nach innen gegen das Bildungs- und Universitätswesen. Es war überraschend, wie schnell die bewährte Organisation der Wissenschaft von diesem neuen Geist erfaßt wurde. Es war erkennbar, daß sich die jetzt hervortretenden politischen Kräfte seit langer Zeit auf diesen Augenblick vorbereitet hatten.

Unter dem neuen Bundesminister Hans Leussink entstand bei der Regierungsbildung ein Ressort mit der Bezeichnung »Bildung und Wissenschaft«. Hier wurden die Bundeskompetenzen des gesamten Bildungs-, Schul- und Universitätswesens wie auch die Wissenschaftsförderung einschließlich der Kernenergie zusammengefaßt.

Die Kernenergie, die noch unter Minister Gerhard Stoltenberg nahezu ein ganzes Ministerium beschäftigt hatte, wurde in diesem

neuen Mammutgebilde eine Unterabteilung IV B »Kernforschung und Kerntechnik«. Sie spielte damit nur noch eine bescheidene Rolle. Es zeigte sich schnell, daß der Schwerpunkt der ministeriellen Aufmerksamkeit sich dem Bildungswesen zuwandte.

In der Arbeit des Ministeriums traten die neuen Strömungen in einem Ausmaß zu Tage, das nicht erwartet worden war. Im Bereich der Wissenschaftsförderung wurde unmittelbar nach der Regierungsbildung eine grundsätzliche Veränderung des Beratungswesens angekündigt. Es wurden Gutachten vorgelegt und diskutiert, die man sich von entsprechenden Firmen hatte anfertigen lassen. Das bisherige umfangreiche System von Kommissionen und Beratungskreisen, welches die ministeriellen Vorgänger in langen Jahren aufgebaut hatten, wurde ausgeschaltet. Die Regierung beanstandete dessen Überalterung, die hierarchische Zusammensetzung und die angebliche Undurchsichtigkeit der Verhandlungen und Beschlüsse.

Die Atomkommission wird aufgelöst

Davon wurde auch die Deutsche Atomkommission betroffen. Das Ministerium ließ sie mit ihren Fachausschüssen noch arbeiten, bis die vierte Atomkonferenz in Genf 1971 vorüber war, und löste sie dann mit einem Kabinettsbeschluß auf.
Im Protokoll der letzten Sitzung vom 19. Oktober 1971 heißt es über die Ausführungen des Ministers: »Die raschen Fortschritte in der Kerntechnik, die Änderungen in der industriellen Produktion und in den staatlichen Förderungsmaßnahmen machten es erforderlich, das Beratungswesen zu straffen, den Verhältnissen anzupassen und es noch durchsichtiger werden zu lassen. Die Auswahl der Berater soll erweitert werden, insbesondere durch den systematischen Aufbau einer Beraterkartothek. Im Verhältnis zum Ministerium müsse das lebendige Gespräch in einer ›kritischen Partnerschaft‹ erhalten bleiben. Die neuen Beratungsgremien sollten ihren Vorsitzenden selbst wählen und Einfluß nehmen können auf den Umfang, die Vollständigkeit und Ausführung ihres

Mitglieder der Deutschen Atomkommission zum Zeitpunkt der abschließenden (23.) Sitzung am 19. Oktober 1971

Bundesminister Prof. Hans Leussink – Vorsitzender –
Dr. Hermann J. Abs (Deutsche Bank, Franfurt/M.)
Prof. Dr. Ernst von Caemmerer (Universität Freiburg/Br.)
Dr. Rupprecht Dittmar (Deutsche Angestellten-Gewerkschaft, Hamburg)
Gerhard Geyer (Esso AG, Hamburg)
Prof. Dr. Heinz Goeschel (Siemens AG, Erlangen)
Alfred Haase (Allianz Versicherungs-AG, München)
Prof. Dr. Kurt Hansen (Bayer AG, Leverkusen)
Prof. Dr. Otto Haxel (Universität Heidelberg)
Prof. Dr. Werner Heisenberg (Max-Planck-Gesellschaft, München)
Prof. Dr. Josef Kimmig (Universität Hamburg)
Dr. Kurt Lotz (Volkswagenwerk, Wolfsburg)
Prof. Dr. Heinrich Mandel (RWE, Essen)
Dr. Wilhelm Alexander Menne (Hoechst AG, Frankfurt)
Dr. Egon Overbeck (Mannesmann AG, Düsseldorf)
Waldemar Reuter (Deutscher Gewerkschaftsbund, Düsseldorf)
Prof. Dr. Erwin Schopper (Universität Frankfurt)
Dipl.-Ing. Georg Schulhoff (Handwerkskammer Düsseldorf)
Prof. Dr. Julius Speer (Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn)
Prof. Dr. Fritz Strassmann (Universität Mainz)
Prof. Dr. Wilhelm Walcher (Universität Marburg)
Prof. Dr. Karl Winnacker (Hoechst AG, Frankfurt)
Prof. Dr. Karl Wirtz (Kernforschungszentrum Karlsruhe)

Ausgeschiedene und nicht ersetzte Mitglieder seit 1970:
Hans Constantin Boden (verst. 17. 11. 70)
Leo Brandt (verst. 30. 4. 71)

Auftrages.« Soweit das Protokoll. Ähnlich ging es dem Beratungsausschuß für Forschung, der Weltraumkommission, der Kommission für Datenverarbeitung und anderen Beratungsgremien.

Durch diese Maßnahme ging der Bundesregierung zunächst einmal eine große Zahl von Beratern verloren, die z.B. in der Deutschen Atomkommission und ihren angeschlossenen Arbeitskreisen gearbeitet hatten. Die Regierung sammelte nun die Namen aller, die für irgendein spezielles Arbeitsgebiet im Ministerium als Sachverständige gelten konnten, in Kartotheken, und berief aus bestimmten Anlässen und für bestimmte Aufgaben sogenannte ad hoc-Ausschüsse oder Projektausschüsse, die noch dazu sehr oft wechselten. Im übrigen wurde begonnen, mit sogenannten hearings an die Öffentlichkeit zu gehen. Bei besonderen Anlässen wie z.B. bei der Genehmigung eines Atomprogrammes oder vor dem Bau des Schnellen Brüters wurden unter anderem einige hundert Zuhörer eingeladen, denen die Pläne in mehrstündigen Verhandlungen genau auseinandergesetzt wurden. Beschlußfähig war dieses Gremium nicht. Es wurde auch kein Beschluß erwartet. Es blieb nicht aus, daß es in solch großen Auditorien auch zu unsachlichen Auseinandersetzungen kam. Positive Ergebnisse brachten diese hearings nicht. Sie sollten wohl auf die Beschlüsse der Regierung auch keinen großen Einfluß haben.

Dieses Vorgehen hat der Arbeit des Ministeriums nicht genützt. Anstelle eines historisch gewachsenen, vielleicht auch zuweilen überalterten Systems entstand lange Zeit ein Vakuum.

Das Atomforum bleibt übrig

Das Deutsche Atomforum verfolgte diese Entwicklung mit großer Sorge. Es erreichte mit Unterstützung der parlamentarischen Mitglieder im Präsidium, daß für die Kernenergie schließlich doch noch zwei ständige Fachausschüsse geschaffen wurden: ein Fachausschuß für Kernforschung und Kerntechnik, d.h. für die eigentliche technische Entwicklung, und ein weiterer Fachausschuß für Strahlenschutz und Sicherheit. Beide Organisationen erlangten bisher jedoch nur eine bescheidene Funktionsfähigkeit.

Mit dieser Zweiteilung wurde man einer Arbeitsaufteilung gerecht, die vorher innerhalb des Ministeriums schon geschaffen worden war. Dort waren die Aufgaben in zwei Bereiche eingeteilt worden, von denen der eine der eigentlichen Förderung der Kernenergie dienen sollte, der andere die Fragen der Sicherheit und der Genehmigungspolitik behandelte. Der Öffentlichkeit gegenüber sollte so gezeigt werden, daß der Minister dieses schwierige Arbeitsgebiet sozusagen von zwei Gesichtspunkten aus bearbeitet sehen wollte; einerseits vom Standpunkt der Initiative aus und andererseits aus der Sicht der Vorsorge für Sicherheit. Es war frühzeitig abzusehen, daß eine solche Polarität unter einer Leitung erst recht undurchsichtig wirken würde.

Die Unruhe, welche dieser neue Start hervorrief, sollte noch eine ganze Weile dauern. Im März 1972 legte Hans Leussink seinen Ministerposten nieder. Ihm folgte im Amt der bisherige Staatssekretär Klaus von Dohnanyi. Als es im Herbst 1972 nach der vorgezogenen Parlamentsauflösung und Neuwahl zu einer Neubildung der Regierung unter Willy Brandt kam, gab es wiederum grundsätzliche Änderungen, welche die Forschung und Entwicklung und damit auch die Kernenergie stark berührten. Es entstand unter Klaus von Dohnanyi ein Ministerium für Bildung und Wissenschaft, das im Rahmen der Bundeskompetenz gemeinsam mit den Bundesländern die Schulen und die Universitäten mit ihrer Lehre und Forschung betreuen sollte. Unter Horst Ehmke wurde ein neues »Ministerium für Forschung und Technologie« geschaffen. Unter dieses Ressort fiel nun auch die Förderung der Kernenergie. Diesem Ministerium wurden bedeutende Wissenschaftsgesellschaften wie die Max-Planck-Gesellschaft zugeordnet.

Die Verantwortung für die Sicherheits- und Genehmigungsfragen im Rahmen der Kernenergie trennte die Regierung von der eigentlichen Entwicklung ab und teilte sie dem Bundesinnenministerium unter Hans-Dietrich Genscher zu, wo auch die Bundesverantwortung für den Umweltschutz lag. Genscher hatte mehrere Jahre dem Präsidium des Atomforums angehört und für dessen Probleme immer Interesse gezeigt.

Als Willy Brandt im Mai 1974 zurücktrat und Helmut Schmidt

das Amt des Bundeskanzlers übernahm, wurden die Ministerien, welche sich mit den Problemen der Kernenergie befaßten, abermals neu besetzt. Das Bundesministerium für Forschung und Technologie übernahm Hans Matthöfer, das Bundesinnenministerium Werner Maihofer.

Man kann an dieser Periode des ständigen Wechsels innerhalb von fünf Jahren nicht vorbeigehen, wenn man den dornenvollen Weg der deutschen Bildungs- und Wissenschaftspolitik zu verstehen versucht. Diese Jahre waren auch für die Kernenergie nicht ohne Konsequenzen. Zu den Auswirkungen dieses ständigen Wechsels gehörte auch die Unterschrift unter den Atomsperrvertrag, die die Bundesregierung im Zuge der neuen Ausrichtung ihrer Außenpolitik im November 1969 vollzog.

Die Weiterentwicklung der Kernenergie im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten konnte in dieser Zeit nur verfolgt werden, weil im Ministerium damit vertraute Mitarbeiter die Kontinuität auf der Basis der laufenden Atomprogramme aufrechthielten. Der Hauptgesprächspartner der Regierung blieb nach Auflösung der Deutschen Atomkommission das Deutsche Atomforum, das seine Arbeit sehr verstärken mußte. Eine solche Verstärkung war um so notwendiger, als bei der Kernenergie ein Stadium erreicht war, in dem es neben den Fragen der eigentlichen wissenschaftlichen Entwicklung nun um akute wirtschaftspolitische und finanzielle Probleme ging, wenn die Kernenergie im Rahmen eines Energieprogrammes ihre entscheidende Rolle spielen sollte.

Die vierte Genfer Atomkonferenz

Kurz vor der Auflösung der Atomkommission fand in Genf 1971 die vierte Atomkonferenz statt. Sie vermittelte eine gute Übersicht über den Stand der internationalen Entwicklung der Kernenergie, die nun längst in das Stadium wirtschaftlicher Nutzung eingetreten war. Die deutsche Delegation stand unter Führung von Hans Leussink. Die Bundesrepublik Deutschland hatte zahlreiche Vorträge eingereicht und war auch zu mehreren mündlichen Vorträgen zugelassen. Der deutsche Ausstellungsstand, auf dem ein interessantes Prinzipmodell eines Fusionsreaktors sowie das Modell des

THTR-Kugelhaufenreaktors neben wissenschaftlichem und statistischem Material dargeboten wurden, fand große Aufmerksamkeit. Auf einem Gemeinschaftsstand mit den BENELUX-Ländern war ein Modell des SNR 300 Schnellbrüter-Projekts ausgestellt, das ebenfalls stark beachtet wurde.

Das Bemerkenswerte an dieser Konferenz war wohl, daß nunmehr die Entscheidungen zugunsten der Leichtwasserreaktoren gefallen waren. Was sich im Jahre 1964 gelegentlich der dritten Genfer Atomkonferenz abgezeichnet hatte, war jetzt klar bestätigt. Der Leichtwasserreaktor würde für die nächsten ein bis zwei Jahrzehnte der bevorzugte Reaktortyp sein.

Die Vorträge und Diskussionen über den Leichtwasserreaktor befaßten sich mit dessen Vervollkommnung und seiner Wirtschaftlichkeit. Es ging um den Austausch von Erfahrungen und Verbesserungsvorschlägen. Industrielle Gruppen boten schlüsselfertige Anlagen an; die Bundesrepublik Deutschland konnte dabei gut mithalten. Die beiden Leichtwasserreaktoren Würgassen und Stade standen vor der Fertigstellung. Ihre Leistung von ca. 650 Megawatt lag im Rahmen derjenigen der amerikanischen Konkurrenz, mit der man sie nun verglich. Die USA und die Bundesrepublik Deutschland bildeten die Spitze in der Entwicklung der Leichtwasserreaktoren. Der Druckwasserreaktor Biblis A mit einer Leistung von ca. 1200 Megawatt war im Bau. Damit hatte Deutschland zunächst die Größenordnung erreicht, die für die nächste Zeit das Maximum darstellen sollte. Größere Kapazitäten scheinen auch zum heutigen Zeitpunkt aus Gründen der Reservehaltung und der Belastbarkeit der Verteilungsnetze kaum wünschenswert. Die Amerikaner hatten Kapazitäten von 2000–3000 Megawatt im Sinne, haben aber inzwischen diese Ideen zurückgestellt. Das im Sommer 1974 mit voller Leistung in Betrieb gekommene Biblis A ist wohl das z.Z. größte Kernkraftwerk und wird, wenn es sich weiter bewährt, das Muster für die nächste große Bauperiode bis Mitte der achtziger Jahre bleiben.

Schwerer Stand gegenüber Amerika

Die Zahl der Leistungsreaktoren ist in den USA etwa zehnmal größer als in der Bundesrepublik. Deswegen bestehen dort auch sehr vielseitige Möglichkeiten, Verbesserungen zu erarbeiten. Solche Rationalisierungsmaßnahmen und Verbesserungen liegen hauptsächlich im Bereich der technischen Verfügbarkeit und der Sicherheit. Die technische Verfügbarkeit der in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerke ist mit 80–90% sehr gut. Trotzdem ist festzustellen, daß die Hersteller noch lange Zeit Unterstützung benötigen, um sich gegenüber dem größeren Erfahrungsschatz der Amerikaner durchsetzen zu können.

Da nun die Zahl der Leichtwasserreaktoren zunehmen sollte, traten die Probleme der Sicherheit und der staatlichen Genehmigungsverfahren immer mehr in den Vordergrund. Hier lag ein zweiter Schwerpunkt der Konferenz. Es ergab sich, daß die Ansprüche an die Sicherheit in der Bundesrepublik Deutschland sehr hoch sind und wahrscheinlich sogar diejenigen der Amerikaner übertreffen. In Deutschland war inzwischen erkannt worden, daß die Aufstellung von Kernkraftwerken in den dichtbesiedelten Gebieten auf den Widerstand der Bevölkerung stieß.

Die Fachleute waren bei diesem Erfahrungsaustausch sehr zuversichtlich, obwohl in den USA wie in den europäischen Ländern die Probleme bei der Durchführung eines staatlichen Genehmigungsverfahrens schwieriger wurden. In den USA gab es damals ein Beispiel, bei dem die Genehmigung eines seit mehr als einem Jahr betriebsbereiten Kernkraftwerkes noch ausstand. Die Konferenzteilnehmer waren sich damals, 1971, in Genf darüber einig, daß hier große Schwierigkeiten zu überwinden sind, die zwar der nationalen Bearbeitung, aber auch der internationalen Abstimmung bedurften. Andererseits lagen über die Sicherheit der Kernkraftwerke beste Erfahrungen vor, wonach eine Gefährdung der Umwelt auszuschließen war. Es waren zwar in einzelnen Kraftwerken technische Störungen vorgekommen, diese aber waren niemals in irgendeiner besorgniserregenden Weise über den engen Kraftwerksbereich hinausgegangen und hatten auch nie zu Schäden in der Bevölkerung geführt.

Konkurrent der Leichtwasserreaktoren?

Eine Sensation gab es kurz vor Beginn der Konferenz im Bereich der fortgeschrittenen Reaktoren. Wenige Tage vor Beginn der Konferenz berichtete die Gulf General Atomic (GGA), daß sie einen Letter of intent (Vorvertrag) für zwei große Prototypkraftwerke vom Typ HTR mit einer Kapazität von je 1160 Megawatt mit der Philadelphia Electric Co. abgeschlossen habe. Bei den hohen Erwartungen stützte man sich auf die unmittelbar bevorstehende Inbetriebnahme eines Prototyps in Fort St. Vrain mit einer Kapazität von 330 Megawatt.

Diese Mitteilung erweckte zunächst in Genf den Eindruck, als ob nun die Ära der graphitmoderierten Hochtemperaturreaktoren anbräche und den Leichtwasserreaktoren eine harte Konkurrenz erwachsen wäre. Inzwischen hat sich längst herausgestellt, daß diese Auffassung übereilt und verfrüht war. Der Prototyp der GGA ist heute, Mitte des Jahres 1975, noch nicht auf Leistung gebracht worden. Infolgedessen wird auch die Realisierung der Großbestellungen auf sich warten lassen.

Nahezu alle an der Entwicklung beteiligten Industrienationen berichteten in Genf über ihre Erfolge mit dem Schnellen Brüter, von dem man aber, wie sich auf der Konferenz klar ergab, nicht erwarten kann, daß er in naher Zukunft bei der Stromlieferung mit den Leichtwasserreaktoren in ernstliche Konkurrenz treten wird. Die Engländer schienen mit ihrer Entwicklung allen anderen voraus zu sein. Es folgten die Vereinigten Staaten und Frankreich sowie die Sowjetunion. Die deutschen Pläne lagen 1971 schon seit einiger Zeit bereit. Aber es bestand noch immer keine Einigkeit über den Standort und die Verteilung der Kosten. Erst im Jahre 1972 kam es schließlich zu einer Entscheidung. Immer wieder scheut man in Deutschland bei einzelnen Projekten und Aufgaben die hohen Kosten und überlegt, ob nicht durch Beteiligung an internationalen Projekten eine eigene Aktivität zu umgehen ist. Der Schnelle Brüter ist und bleibt ein beliebter Gegenstand öffentlicher Debatten. Er war es auch auf der Konferenz in Genf. Alle Beteiligten waren sich aber in Genf einig, daß an der Entwicklung des Schnellen Brüters kein Weg vorbeiführt.

Von der Kernfusion war in Genf einstimmig zu hören, daß trotz aller Fortschritte eine technische Realisierung in diesem Jahrhundert kaum zu erwarten ist. Die Energiegewinnung durch Kernspaltung wird also unbeirrt weiter verfolgt werden müssen.

Zu den Themen in Genf gehörte selbstverständlich der Brennstoffkreislauf sämtlicher Reaktorlinien. Zur Urananreicherung ergab sich, daß die Zentrifuge an Raum gewann. Das Interesse für die Entwicklung, welche die Bundesrepublik mit England und Holland gemeinsam forciert, hatte inzwischen auch auf die USA übergegriffen.

Die Aufbereitung ausgebrannter Brennelemente, die Endlagerung der radioaktiven Rückstände und die Refabrikation unter Rückführung des Plutoniums rückten als unausweichliche Probleme immer näher. Die Deutschen hörten zu ihrer Befriedigung, daß der von ihnen beschrittene Weg der nassen Aufbereitung immer noch der richtige ist, und daß die Endlagerung in Salzbergwerken an Interesse nicht eingebüßt hat.

Im wissenschaftlichen Bereich war wohl das Bemerkenswerteste die Mitteilung von Glenn T. Seaborg, dem Präsidenten der Konferenz, daß Oak Ridge in natürlichen Gesteinen das Plutoniumisotop 244 gefunden habe. Dieses Isotop hat eine Halbwertszeit von 8×10^7 Jahren. Wenn es bei der Elementensynthese vor fünf bis sechs Milliarden Jahren in Gleichgewichtskonzentration entstanden wäre, könnte es tatsächlich gerade noch in sehr geringer Konzentration auf der Erde vorhanden sein. Uran hätte, wenn sich das bestätigte, dann seine Stellung als das schwerste in der Natur vorkommende Element an das Plutonium abgegeben.

Das Ergebnis der vierten Genfer Atomkonferenz lag wohl in der weitgehenden Klarheit über den grundsätzlichen Weg und die Entwicklungsstufen der Kernenergie. Man war aus der Zeit des Suchens und Tastens nach neuen Lösungen heraus und in eine wirtschaftliche Auseinandersetzung eingetreten. Im Wettbewerb standen eigentlich nur noch einige der großen Industrienationen, die jetzt begannen, um den wirtschaftlichen Erfolg zu kämpfen. Nationen mit kleineren Programmen und speziellen Entwicklun-

gen hatten von nun an nur noch geringe Chancen. Das neu erschlossene Gebiet der Kernenergie hatte wiederum die Welt geteilt: In solche Nationen, die einer so schwierigen Entwicklung aufgrund des Standes ihrer Wissenschaft und Technik und ihrer Finanzkraft gewachsen sind, und in die übrigen, die wegen Fehlens einer oder auch beider Voraussetzungen in Zukunft darauf angewiesen sein werden, sich auf die Erfahrungen und die Wirtschaftskraft anderer zu stützen.

Die Fähigkeit, Kernenergie wirtschaftlich zu erzeugen und die dazu notwendigen Einrichtungen zu erstellen und auch an andere vertreiben zu können, ist ein wertvolles Potential im wirtschaftlichen und politischen Spiel der Kräfte. Es ist eine große Beruhigung angesichts der sonst so eingeschränkten Möglichkeiten, daß die Bundesrepublik Deutschland zu dem kleinen Kreis derjenigen gehört, die sich hier eine Handlungsfreiheit erarbeitet haben. Sie wird ihre Möglichkeiten jetzt zur Erfüllung ihres Energieprogrammes nutzen können. Andere Bemühungen, z.B. auf dem Gebiet der Weltraumfahrt, waren weniger erfolgreich.

Was muß getan werden?

Wenn im Jahre 1985 tatsächlich 50000 Megawatt elektrischer Leistung aus Kernkraftwerken in Deutschland zur Verfügung stehen und damit etwa 45% der Stromerzeugung gedeckt werden sollen, so bedarf es dazu einer großen technischen, wirtschaftlichen und vor allen Dingen auch politischen Kraftanstrengung. Der Präsident des Deutschen Atomforums – Winnacker hatte Ende 1973 sein Amt an Heinrich Mandel (RWE) abgegeben – hat gelegentlich der Mitgliederversammlung am 28. November 1974 einen Überblick über die Situation gegeben. Das Atomforum hatte einerseits über die notwendigen Maßnahmen und andererseits über die Probleme der Genehmigungsverfahren wichtige Berichte erstellt.

Nach dem Bericht von Heinrich Mandel sind in der Bundesrepublik Deutschland z.Zt. acht Kernkraftwerke mit einer Leistung von 1545 Megawatt in Betrieb. Zwei weitere Kernkraftwerke mit einer Leistung von 1840 Megawatt sind fertiggestellt und stehen

vor ihrer Inbetriebnahme. Im Bau befinden sich zehn Kernkraftwerke mit zusammen 8800 Megawatt. Neun Anlagen mit einer Leistung von 10800 Megawatt befinden sich im Stadium des Genehmigungsverfahrens. Wenn man die Situation optimistisch betrachtet und allzu große Rückschläge nicht eintreten, können im Jahre 1980 diese rd. 23000 Megawatt Kernenergie betriebsbereit sein. In der Zeit von 1980 bis 1985 müssen dann noch 25 Anlagen der Größe von ca. 1200–1300 Megawatt in Betrieb genommen werden. Die Kosten einer solchen Einheit liegen bei etwa 1,2–1,3 Milliarden DM. Für die gesamte Leistung muß also bis 1985 eine Summe von ca. 60–70 Milliarden DM bereitgestellt werden, ohne daß dabei wesentliche Inflationsraten berücksichtigt worden sind.

Der Ausbau dieser Kapazität muß im Rahmen der deutschen Elektrizitätswirtschaft liegen, die über eine große unternehmerische Initiative verfügt und aufgrund ihrer gemischt-wirtschaftlichen Struktur auch nach privatwirtschaftlichen Grundsätzen geführt wird. Diese Unternehmen können eine beachtliche Finanzkraft mobilisieren, die aber auch durch andere Aufgaben wie z.B. den Ausbau der Braunkohlefelder im Raum von Köln und die normalen Aufwendungen für die Vervollständigung und Erweiterung des Betriebsnetzes in Anspruch genommen wird.

Unter Einschluß aller Investitionen, die für den Brennstoffkreislauf der Kernkraftwerke erforderlich sind, und all der Maßnahmen, die zur Erfüllung des allgemeinen Energieprogramms vorausgesetzt werden müssen, kommt man für die Bundesrepublik auf einen Geldbetrag von rd. 150 Milliarden DM, der bis 1985 für die Energieversorgung aufgebracht werden muß.

In diese Summe, die nur der Größenordnung nach geschätzt werden kann, müssen auch die Prototypen für die Großausführung von fortgeschrittenen Reaktoren, also des graphitmoderierten Hochtemperaturreaktors und des Schnellen Brüters eingeschlossen werden.

Die Regierung und die Finanzinstitute werden darüber nachdenken müssen, wie ein solcher Finanzierungsplan aussehen kann. Man wird die Kapitalbeschaffung nicht dem freien Spiel der Kräfte allein überlassen können, da der Geldbedarf der öffentlichen Hand das Steueraufkommen schon jetzt gewaltig übertrifft und

den der Wirtschaft zur Verfügung stehenden Kapitalmarkt belastet und einengt. Es wird wohl zweckmäßig sein, für das Energieprogramm einen in sich geschlossenen Finanzrahmen zu schaffen, ganz unabhängig davon, ob die Mittel vom Staat oder von der Privatwirtschaft aufgebracht werden.

Eine Investition von 15–20 Milliarden DM pro Jahr für den Energiesektor und damit für die Aufrechterhaltung der Selbständigkeit der deutschen Wirtschaft sollte der deutschen Finanzkraft grundsätzlich aber keine Schwierigkeiten machen.

Reaktorbau ist durchführbar

Die Konstruktion und Errichtung der Kernreaktoren wird in den Händen der elektrotechnischen Großindustrie liegen. Dank des in enger Zusammenarbeit mit Wissenschaft, Wirtschaft und Staat erreichten Entwicklungsstandes sind Großunternehmen wie Siemens, AEG und BBC heute in der Lage, solche Kraftwerke zu bauen. Ob AEG Partner von Siemens in der Kaftwerk Union AG (KWU) bleibt, ist noch ungewiß. Die BBC arbeitet im Bereich der Leichtwasserreaktoren mit der englischen Gesellschaft Babcock & Wilcox zusammen. Im Bereich der Hochtemperaturreaktoren liegt der Schwerpunkt bei BBC auf der Zusammenarbeit mit der amerikanischen General Atomic Company. Es sind also in Deutschland große tragfähige Industriegruppen vorhanden, die darauf warten, in den Bau der Kernkraftwerke in größerem Maßstab eintreten zu können. Z. Zt. ist die Lieferfähigkeit der deutschen Firmen größer als der erst langsam anlaufende Bedarf in der Bundesrepublik Deutschland. Die Unternehmen bemühen sich deshalb um ausländische Aufträge. Hierbei stehen sie in starker Konkurrenz zu englischen und vor allem amerikanischen Firmen.

Die deutsche Stahl- und Maschinenindustrie ist in der Lage, alle Bauteile und Konstruktionselemente zu liefern, die für den Reaktorbau erforderlich sind. Wenn zur Zeit die ungewöhnlich großen Schmiedestücke, und zwar die Druckbehälter und Turbinenwellen, einen Engpaß in der Lieferung bilden und meistens aus Japan bezogen werden müssen, so ist das lediglich eine Frage der Disposition, die durch Investitionen leicht geregelt werden könnte, wenn

sich das als notwendig erweist. Die Möglichkeit zu einer Herstellung im Rahmen der deutschen Stahlindustrie kann jedenfalls jederzeit geschaffen werden.

Neue Industriegruppierungen

Für die Herstellung des Core und der Brennelemente steht in Deutschland die Nukem mit ihren großen Erfahrungen zur Verfügung. Ihre Hauptsparte, nämlich Brennelemente für Leichtwasserreaktoren, hatte sie schon vor Jahren in die Reaktor-Brennelemente Gesellschaft mbH (RBG) eingebracht. An dieser in Wolfgang bei Hanau beheimateten RBG war neben der Nukem die KWU beteiligt, die gemeinsame Tochtergesellschaft von Siemens und der AEG. Im Oktober 1974 nun vereinigten sich diese RBG und die gleichfalls von der KWU mit der amerikanischen General Electric gegründeten KRT (Kernreaktorteile GmbH) zu der Reaktor-Brennelement Union GmbH (RBU). Von dieser ebenfalls in Wolfgang wirkenden Gesellschaft besitzen die KWU 50%, die Nukem 30% und die General Electric 20% Anteile. Darüber hinaus hat in der letzten Zeit die Steag (Steinkohlen-Elektrizitäts-Aktiengesellschaft) zusammen mit der Westinghouse Electric Corp. die Nuklearbrennstoff GmbH in Essen gegründet, an der sich inzwischen die Gelsenberg AG beteiligte. Die Gesellschaft beabsichtigt, bei Ahaus eine Brennelementefabrik auf der Basis des Know-how von Westinghouse zu errichten, die bis 1977 den Betrieb aufnehmen soll.

Brennelemente stehen also in der Bundesrepublik Deutschland auch in ausreichendem Maße zur Verfügung. Es herrscht auf diesem Gebiet eine lebhafte Konkurrenz, die zudem vom Ausland her nach Deutschland hereindrängt. Dieser Wettbewerb kann dem Fortschritt in der Entwicklung der Reaktortechnik nur förderlich sein. Andererseits aber bedarf die Entwicklung fortgeschrittener Reaktoren, insbesondere des Schnellen Brüters, noch großer Anstrengungen im Bereiche der Brennelemententwicklung. Insbesondere geht es dabei um die Rückführung des Plutoniums in die Brennelementefertigung. Die Nukem gründete zu diesem Zweck die Alkem GmbH, die sich insbesondere um die Einarbeitung des

Plutoniums in die Brennelemente bemüht. Als Partner in der Alkem traten später neben die Nukem noch Siemens und AEG.

Eine entscheidende Voraussetzung für den Reaktorbau ist eine hochentwickelte Meßtechnik, um die sich hierzulande die elektrotechnischen Unternehmungen ebenso wie eine weitverzweigte und hochentwickelte feinmechanische Industrie bemüht haben.

Man kann wohl sicher sein, daß sowohl in Deutschland als in den anderen Industriestaaten Meßinstrumente wie auch die erforderlichen Regelkreisläufe geliefert werden können, die auch den steigenden Anforderungen ständig angepaßt werden. Gerade hier liegt die Hauptvoraussetzung für die Sicherheit des Einsatzes der Kernenergie.

Zu der industriellen Durchführung des Reaktorprogramms in dem jetzt für notwendig erachteten Ausmaß gehören alle die selbstverständlichen Maßnahmen, welche die Beschaffung der Kernbrennstoffe und die Einrichtung des Brennstoffkreislaufs sicherstellen. Man kann diese Planungen und Vorbereitungen nicht der fernen Zukunft überlassen. Der Baubeginn eines jeden Kernkraftwerkes setzt voraus, daß die Beschaffung des Kernbrennstoffes einschließlich des angereicherten Urans und die Wiederaufarbeitung der ausgebrannten Brennelemente, die etwa zwei Jahre nach der Inbetriebnahme fällig ist, sichergestellt sind. Das einen Reaktor betreibende Elektrizitätsversorgungsunternehmen muß diese Anforderungen durch langfristige Verträge sicherstellen, wenn es die Wirtschaftlichkeit der Investition nicht gefährden will.

Der Uranbedarf muß gesichert werden

Der voraussichtliche Jahresbedarf an Natururan wird im Jahre 1985 in Deutschland etwa 10000 Tonnen betragen. Er kann und muß durch deutsche Firmen, die sich mit der Beschaffung einschließlich Prospektierung von Natururan beschäftigen, gesichert oder im Ausland eingekauft werden. Da die Natururanpreise steigende Tendenz zeigen, wäre es sicher gut, rechtzeitig zu handeln. Es könnte auch eine willkommene Aufgabe für den Staat sein, wenn die Bundesregierung eine gewisse Uran-Bevorratung sicherstellte und sich auf eigene Kosten einen Vorrat anlegte.

Zur Sicherstellung der Anreicherungskapazität wird für das Jahr 1985 eine Trennarbeitsleistung von 6500 Jahrestonnen notwendig, wenn man den Anschluß an die in den USA, bei der Eurodif in Frankreich und in der Sowjetunion laufenden Bestellungen gewinnen will. In Gemeinschaft mit Großbritannien und Holland betreibt die Bundesrepublik Deutschland den stufenweisen Aufbau einer solchen Anlage nach dem Zentrifugenverfahren. Ein Engpaß im Bereich der Weiterentwicklung droht bei der Wiederaufarbeitung der Kernbrennstoffe, die wegen technischer Schwierigkeiten zur Zeit in der ganzen Welt keine rechten Fortschritte macht. Ganz offensichtlich wurde dieses Problem weltweit unterschätzt. Die Atommächte haben wohl auch daran gedacht, sich durch nationale Vorbehalte eines Tages einen wirtschaftlichen Vorteil zu reservieren. An der technischen Vervollkommnung ist daher wenig gearbeitet worden. Inzwischen aber ist auf diesem Gebiet von Wettbewerb nicht mehr die Rede. Es ist gar nicht daran zu denken, diese mit so großem Risiko belastete Aufgabe einfach einem anderen zu überlassen. Die Öffentlichkeit wird sich nicht darauf einlassen, für fremde Nationen solche Wiederaufarbeitungsanlagen zu betreiben.

Es muß also eine vernünftige geographische Aufteilung gefunden werden, damit die Transportwege nicht allzu groß werden. Die Bundesrepublik Deutschland plant gemeinsam mit Frankreich und England eine Großanlage, welche mit einer Kapazität von 1500 Jahrestonnen bis 1985 die in diesen Ländern vorhandenen Anlagen ergänzen soll. Sie stützt sich dabei auf eigene Erkenntnisse, die in einer Anlage in Karlsruhe gewonnen worden sind. Frankreich und England haben ihrerseits ebenfalls Erfahrungen, welche sie der Dreiergemeinschaft zur Verfügung stellen können.

Schwierigkeiten mit der Lagerung

Auch das Problem der Endlagerung ist eine schwierige internationale Aufgabe, für die eine endgültige Lösung noch nicht gefunden ist. Eine hierzu erforderliche internationale Zusammenarbeit ist in Europa auch recht schwierig. Wenn schon die Ansichten der Techniker zuweilen auseinandergehen und nationale Vorbehalte im al-

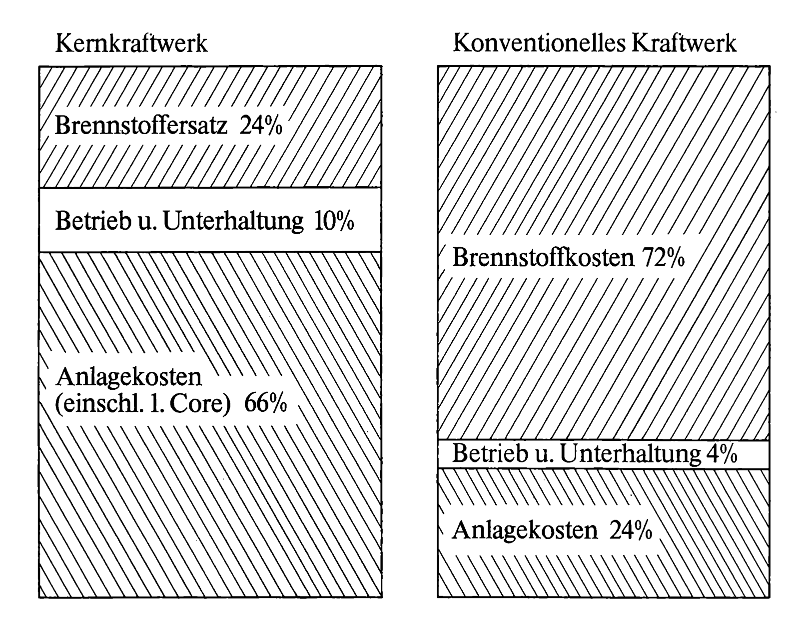
ten Europa nie vollständig ausgeräumt werden können, so bedeutet das Zusammenwirken mehrerer Regierungen zusätzliche Schwierigkeiten.

In Deutschland sind diese Bedürfnisse im vierten Deutschen Atomprogramm, das im Jahre 1973 verabschiedet wurde, enthalten und damit zu einer anerkannten staatlichen Aufgabe geworden. Die in diesem Programm zusammengefaßten Punkte erinnern daran, daß das jetzt durch das Energieprogramm in den Vordergrund gerückte Ziel der 50000 Megawatt nicht als Abschluß betrachtet werden kann. Es bleibt dabei, daß die Leichtwasserreaktoren mit ihrem zugehörigen Brennstoffkreislauf nur die erste Stufe einer weitläufigen Entwicklung darstellen.

Wirtschaftlichkeit und ihre Absicherung

Die Wirtschaftlichkeit der Kernkraftwerke, die zu Beginn der Entwicklungsarbeiten so oft in Frage gestellt war, ist heute angesichts der im Fluß befindlichen Entwicklung der Energiepreise kaum noch ein Gegenstand der allgemeinen Diskussion. Es ist bekannt, daß die Energie aus den Leichtwasserreaktoren unter allen Umständen den Wettbewerb mit den traditionellen Energieträgern bestehen wird. Die Kernenergie wird noch am ehesten gestatten, echte Stromkosten zu errechnen, während nahezu alle anderen Energiequellen durch Subventionen und Steuern mehr oder weniger willkürlich belastet sind. Mehr als die endgültigen Stromkosten eines Kernkraftwerkes müssen die spezifischen Merkmale der Kostenrechnung und die besonderen damit zur Zeit verbundenen Risiken berücksichtigt werden, die auf den Ersteller der Kernkraftwerke sowie auch den Betreiber zukommen.

Bei den Kernkraftwerken sind die Investitionskosten mit etwa 1 Million DM pro Megawatt zur Zeit dreimal so hoch wie diejenigen eines normalen Kraftwerkes und bedingen bei normalem Betrieb etwa 66% der endgültigen Stromkosten. Bei traditionellen Kraftwerken liegt dieser Anteil nur bei etwa 24%. Daraus ergibt sich, daß Stillstände bei den Kernkraftwerken besonders schwerwiegend sind. Der Betreiber muß den periodischen, für die Überholung erforderlichen Pausen durch Reservehaltung Rechnung



Vergleich der Stromkosten von konventionellem
und Kernkraftwerk

tragen, wobei diese Ausfallzeit diejenige normaler Kraftwerke möglicherweise übertrifft. Sehr viel kritischer aber kann sich bei Kernkraftwerken eine unerwartete Störung auswirken, da sie wegen der Kontamination zu längeren Stillegungen führen kann. Nach den Erfahrungen der ersten Zeit sind solche technischen Störungen in der Periode des Anfahrens noch nicht von der Hand zu weisen.

Haftungsfrage im Katastrophenfall

Betriebsunterbrechungs-Versicherungen werden im Kraftwerksbetrieb im allgemeinen nicht abgeschlossen, da sie zu kostspielig sind. Es läßt sich leicht errechnen, daß ein einjähriger Ausfall, wenn er durch maschinelle Schäden oder durch Kontamination erzwungen wird, einen Schaden von einigen hundert Millionen DM verursachen kann.

Sehr viel gewichtiger aber ist noch die Schadenshaftung. Das in der Bundesrepublik Deutschland seit 1959 gültige Atomgesetz berücksichtigt die Bedingungen, welche die internationale Atombehörde für solche Haftungsfälle entwickelt hat. Da die Schäden ungewiß sind und Erfahrungen über große Schäden glücklicherweise überhaupt nicht bestehen, sind die nationalen Versicherungen und Rückversicherungen gehalten, sich für die Risiken der Kernenergie einem internationalen Atompool anzuschließen. Von dort aus hat man bisher eine individuelle Haftung von 40–120 Millionen DM angesetzt, zu der ein staatlicher Deckungsbeitrag von 500 Millionen DM pro Kernkraftwerk für Katastrophenschäden vorgesehen ist. Man strebt jetzt an, diese Summe auf 1 Milliarde zu erhöhen. Über die Zweckmäßigkeit dieser Maßnahme gehen die Meinungen sehr auseinander, zumal keinerlei Erfahrungen bestehen. Andererseits trägt die angenommene hohe Schadensmöglichkeit von 1 Milliarde DM dazu bei, daß die Bevölkerung unnötig erschreckt wird.

Der bisher größte bekanntgewordene Schaden, der eine Haftpflicht in Höhe von rund 40 Millionen DM ausgelöst hat, war der Reaktorunfall Windscale/Großbritannien im Oktober 1957, der gar nicht hätte eintreten können, wenn ein ausreichendes Containment vorhanden gewesen wäre. Im Moderator Graphit traten stellenweise unvorhergesehen so hohe Temperaturen auf, daß auch das Uran in den Brennstäben glühend wurde. Die Luftkühlung genügte nicht, sondern förderte noch das Brennen des Graphits. Der Reaktor wurde vollständig unbrauchbar. Aus dem Schornstein traten erhebliche Mengen Aktivität aus, und in der Umgebung wurde die Milch mit radioaktivem Jod verseucht. Der größere Teil des Schadens bestand darin, daß die Kuhmilch und andere Nahrungsmittel in der Umgebung durch Radioaktivität unbrauchbar wurden.

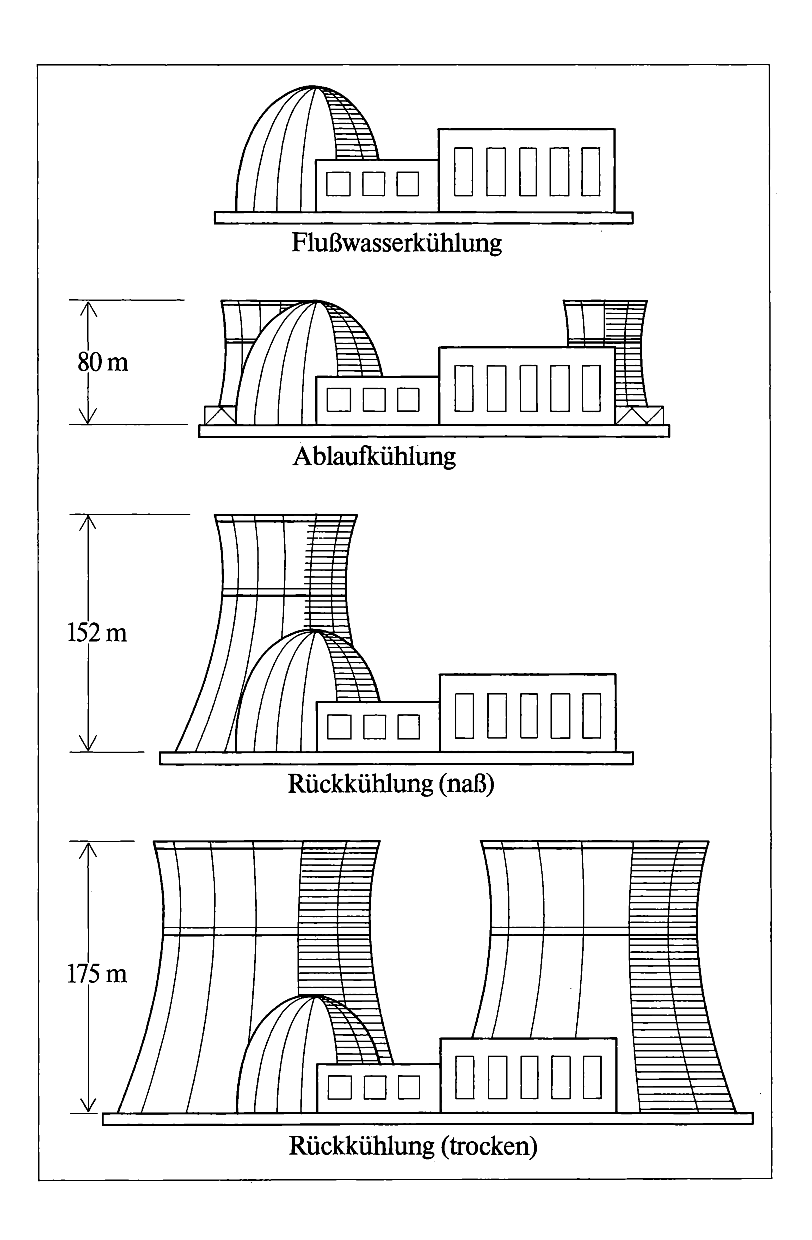
Die staatlichen Genehmigungsverfahren

Wenn Kernkraftwerke in so großer Anzahl im engen und dichtbesiedelten Raum der Bundesrepublik Deutschland errichtet werden sollen, so bedarf es dazu der ordnenden Hand des Staates.

Das Aufkommen der Kernenergie fällt zeitlich zusammen mit der Sorge um die Fragen des Umweltschutzes. Auf der Höhe des industriellen Wohlstandes, den man allerdings, wenn man ehrlich und objektiv bleiben will, nur dieser Industrialisierung verdankt, regen sich die Kritik und die Sorge vor unangenehmen Folgen einer solchen Entwicklung. Man sträubt sich mit Recht gegen die Unerträglichkeit des Lärms, die Verunreinigung der Gewässer und der Luft, und sollte auch alle Mittel anwenden, diese auf ein verantwortbares Maß zu reduzieren.

Vom Standpunkt des Umweltschutzes aber sind die Kernkraftwerke besser als alle Fabriken in unserer modernen Welt. Vor allen Dingen sind sie umweltfreundlicher als die traditionellen Kraftwerke. Sie erzeugen keinen Lärm, sie stoßen aus ihren Kaminen keinen Rauch und kein SO_2 aus. Die radioaktive Strahlung, soweit sie überhaupt nach außen tritt, hält sich in genau kontrollierbaren Grenzen, deren Schädlichkeit im Verhältnis zu der natürlichen Strahlenbelastung ohne Bedeutung ist.

Trotzdem stellen Kernkraftwerke an den Standort besondere Anforderungen. Da ihr thermischer Wirkungsgrad, solange es sich um Leichtwasserreaktoren handelt, noch schlechter ist als bei konventionellen Kraftwerken, ist die Abwärme, die durch Kühlung abgeführt werden muß, merklich größer als bei traditionellen Kraftwerken. Andererseits sind die Kernkraftwerke aus wirtschaftlichen Gründen in ihrer Leistung doppelt so groß. Es wird deswegen in der Bundesrepublik Deutschland nur wenige Standorte geben, wo genügend kühles Flußwasser zur Verfügung steht, um diese Abwärme ohne allzu große Temperaturerhöhungen abzuführen. Hieraus ergibt sich ein echtes Standortproblem, da die allzu große Erwärmung der Flüsse untragbar ist. Sie erniedrigt den Sauerstoffgehalt des Wassers und gefährdet das Leben der Fische. Dieses Problem ist nur mit Luft- oder Rieselkühlern zu umgehen. Dabei aber muß wiederum garantiert sein, daß die Abwärme und die erhöhte Luftfeuchtigkeit nicht lokale klimatische Veränderungen wie Nebelbildung usw. hervorrufen. Alles das ist voraussehbar. Es ist notwendig, sich damit offen und ehrlich auseinanderzusetzen. Eine der dringendsten Forderungen ist es deshalb, Standorte zu ermitteln, wo solche Nachteile zumutbar wären.



Vergleichende Größen von Kühlmöglichkeiten

Die Bundesregierung sollte gemeinsam mit den Ländern und Gemeinden solche Standortmöglichkeiten sozusagen auf Vorrat ermitteln, damit nicht in jedem Einzelfall zeitraubende und unerfreuliche Auseinandersetzungen entstehen, die oft den öffentlichen Frieden stören. Durch planvolle Standortüberlegungen auf längere Sicht würde die Autorität des Staates sehr gewinnen und das Verständnis der Bevölkerung für die Notwendigkeit eines vernünftigen technischen Fortschritts gesteigert werden. Es darf nicht, wie es nicht selten in der Vergangenheit geschehen ist, vorkommen, daß die interessierten Unternehmen gemeinsam mit den örtlichen Behörden Standorte aussuchen, die dann unter dem Druck der öffentlichen Meinung wieder verworfen werden müssen, weil die Überlegungen nicht ausreichend waren. Wenn eine genügende sachliche Vorbereitung auf lange Sicht getroffen würde, könnte es auch nicht so leicht möglich sein, daß unsachliche und ferngesteuerte politische Kritik wertvolle Investitionen verzögert oder zunichte macht.

Solche generellen Standortüberlegungen sind ein dringendes Gebot unserer Zeit auch für alle anderen industriellen Projekte. Wir sollten endlich in der Bundesrepublik Deutschland eine Übersicht darüber schaffen, an welchen Stellen unseres Landes Naturschutzgebiete und Wohngebiete liegen und wo der unentbehrliche Bau von chemischen Fabriken, Kraftwerken, Erdölraffinerien etc. in Zukunft erfolgen soll. Die jetzige Praxis, bei der oft jahrelang über die Errichtung solcher Anlagen gestritten wird, nimmt die Bevölkerung gegen die staatliche Autoriät ein und erzeugt eine ständige Unruhe.

Bei der bisherigen Trennung der Verantwortung in der Bundesrepublik Deutschland zwischen Bund, Ländern und Gemeinden kann eine entsprechende vorsorgende Ordnungsmaßnahme oder Raumordnung nur schwer erreicht werden. Ähnlich ist es übrigens auch beim Wasserrecht, bei den Kompetenzen des Bundes und der Länder miteinander nicht abgestimmt werden können. Die Bundeskompetenz, die durch das Atomgesetz festgelegt ist, reicht offensichtlich gegenüber den Rechten der Länder, welche die Ge-

nehmigung aussprechen müssen, nicht aus. Dies ist um so bedauerlicher, als bei weiträumigen Entscheidungen auch die Abstimmung mit den Nachbarstaaten innerhalb der Europäischen Gemeinschaft herbeigeführt werden muß. Es gehört politische Entschlossenheit dazu, diese Rechtsunsicherheit zu überwinden und innenpolitisch Klarheit darüber zu schaffen, wie solche vorsorglichen Standortermittlungen und eine mittel- oder langfristige Raumordnung zustande kommen können, ohne daß in jedem Einzelfall mit sachlichen und unsachlichen Einwendungen die Zweckmäßigkeit jedes einzelnen Objektes in Frage gestellt wird.

Es wäre ein großer Fortschritt, wenn der Bevölkerung bekannt würde, an welchen Plätzen bestimmte Investitionen, die das Wohl der Allgemeinheit erfordert, stattfinden sollen und wo dies wegen des besonderen Schutzes der Bevölkerung nicht in Aussicht genommen ist. Wenn solche Auseinandersetzungen in aller Öffentlichkeit geschehen und die staatliche Autorität dabei ein Resultat herbeigeführt hat, würde man auch schnell voneinander trennen können, wer zur sachlichen Kritik berechtigt ist und wer nur mit hintergründigen Absichten Unfrieden erzeugen will. Bei Standortentscheidungen ist von der Erkenntnis auszugehen: Alle zu errichtenden technischen Anlagen müssen gegenüber der Umwelt sicher sein. Ein Unterschied zwischen dicht und schwach besiedelten Gebieten sollte dabei nicht gemacht werden, zumal in Deutschland die Differenzen in dieser Richtung sehr gering sind. Es hat sich in der Vergangenheit gezeigt, daß gerade die Diskussion über die Ansiedlung von Industrieanlagen in dicht oder nicht dicht besiedelten Gegenden Meinungsverschiedenheiten und Auseinandersetzungen zwischen Behörden, Industrieunternehmen und der Bevölkerung hervorgerufen hat.

Weil diese Standortüberlegungen vor allem für Kernkraftwerke so schwierig und mit Emotionen beladen sind, wird daran gedacht, große Kernenergiekomplexe an einem Platz gemeinsam anzuordnen. Ob in der Bundesrepublik Deutschland geeignete Stellen gefunden werden können, ist fraglich. Andererseits sind solche industrielle Kraftwerksinseln, die vielleicht sehr zweckmäßig sein können, erst dann möglich, wenn es gelingt, den dort erzeugten elektrischen Strom ohne allzu große Verluste über weite Entfer-

nungen hinweg an den Verbrauchsort zu bringen. Vielleicht wird es eines Tages möglich, mit Hilfe der Supraleitung einen derartigen Stromtransport durchzuführen. In der nahen Zukunft sind jedoch Konzentrationen dieser Art zumindest in Deutschland kaum vorstellbar.

Kernkraftwerke und Gewerbeordnung

Die endgültige Genehmigung der Bauprojekte erfolgt nach den Regeln, die durch die in Deutschland hochentwickelte Gewerbeordnung einerseits und das Atomgesetz andererseits festgelegt sind. Ein solches Genehmigungsverfahren beginnt damit, daß derjenige, der ein Kernkraftwerk erstellen will, einen Antrag mit den notwendigen Unterlagen beim zuständigen Landesinnenministerium einreicht. Es erfolgt die öffentliche Bekanntmachung durch das Ministerium, das den Sicherheitsbericht zur öffentlichen Einsicht auslegt und sich um die Beteiligung der zuständigen Behörden und der von dem Bauvorhaben berührten Körperschaften, insbesondere der betreffenden Gemeinden, bemüht. Das Ministerium wendet sich gleichzeitig an unabhängige Gutachtergremien, welche die Fragen der technischen Ausgestaltung des Kernkraftwerks, des Standortes und der Betriebsvoraussetzungen prüfen. Allgemein werden damit auf Landesebene der zuständige Technische Überwachungsverein (TÜV) und auf Bundesebene das Institut für Reaktorsicherheit (IRS) beauftragt.

Unabhängig hiervon prüft das Bundesinnenministerium, das auf Bundesebene für die Sicherheit atomtechnischer Anlagen zuständig ist, ob Einwendungen gegen den Bau der Anlage bestehen. Im Bundesinnenministerium steht hierfür die Reaktorsicherheitskommission (RSK) zur Verfügung, die aus unabhängigen Sachverständigen besteht. Bei der Einsetzung dieser Kommission war von Beginn an der Gedanke maßgeblich, daß man allmählich einheitliche Gesichtspunkte für die Beurteilung der Sicherheitsmaßnahmen erlangen muß und daß diese dem jeweiligen neuesten Stand der Technik angepaßt werden müssen. Da es sich bei der Kernenergie um so viel technisches Neuland handelt, mußte man durch sorgfältige Auswahl der Mitglieder dafür sorgen, daß genügend Sachverstand in der Kommission vereinigt war.

Fachliche Schwerpunkte für die Beurteilung und somit auch für die Zusammensetzung der Kommission bilden die Reaktorphysik, die Reaktorchemie, die Verfahrenstechnik und die Kerntechnik, die Strahlenmedizin, die Regeltechnik und last not least die Erfahrungen im Kraftwerksbetrieb. Die Kommission hat durch eigene Satzungen festgelegt, wie sie zur Beschlußfassung kommt. Hierbei werden sehr strenge Maßstäbe angelegt.

Die erarbeiteten Gutachten und Stellungnahmen gehen dem mit dem Genehmigungsverfahren beschäftigten Landesministerium zu. Am Ende wird ein öffentlicher Erörterungstermin abgehalten, bei dem alle Einwände durchgesprochen werden, auch solche, die aus dem Kreise der Anwohner eines Standortes kommen. Erst nach Behandlung sämtlicher Einsprüche, auch wenn sie nicht begründet sind, kann durch das Landesinnenministerium die erste Teilerrichtungsgenehmigung gegeben werden. Solche Genehmigungen werden öffentlich ausgelegt und enthalten alle Auflagen, die von den Gutachtern und Behörden als notwendig angesehen werden.

Die Genehmigung stellt eine Ermessensentscheidung dar, auf die man einen Rechtsanspruch letzten Endes nicht geltend machen kann. Der Gesetzgeber, speziell der Bundesrat, hat einen weiten Spielraum des Ermessens zugelassen, um der Behörde die Möglichkeit zu geben, nach dem neuesten Stand der Erkenntnisse Genehmigungsvoraussetzungen zu berücksichtigen, die nicht vorhersehbar waren. Diese Regelung hat vor allen Dingen zur Folge, daß eine gerichtliche Nachprüfung nur dahingehend möglich ist, ob nicht ein Ermessensmißbrauch vorliegt. Das Gericht kann nicht eigenes Ermessen über das der Genehmigungsbehörde stellen. Es kann also nur einen ablehnenden Bescheid aufheben, ihn aber nicht durch eine zustimmende Entscheidung ersetzen.

Der ersten Teilerrichtungsgenehmigung folgen in zeitlichem Abstand einzelne weitere Genehmigungen bis zur endgültigen Betriebsgenehmigung. Dieses Verfahren bedeutet, daß der Baufortschritt laufend überwacht wird. Die behördliche Aufsicht endet auch nicht, wenn das Kraftwerk in Betrieb ist.

Vereinfachung der Bürokratie

Die bisherige Praxis der Genehmigungsverfahren hat zu unerfreulichen Verzögerungen geführt, welche den Bau von Kernkraftwerken und die Entwicklung der Kerntechnik überhaupt stark behindern. Andererseits muß darauf geachtet werden, daß keine unzulässige Vereinfachung oder Verharmlosung des Problems eintritt. Zweifellos aber ist es nicht erforderlich, daß ein Verfahren bis zur ersten Teilgenehmigung mehr als ein Jahr in Anspruch nimmt.

Inzwischen haben das Bundesinnenministerium und die Reaktorsicherheitskommission Sicherheitskriterien und Leitlinien erlassen, die die Genehmigungsverfahren vereinheitlichen können. Durch Initiative des Deutschen Atomforums ist ein »Kerntechnischer Ausschuß« gebildet worden, der aus Vertretern aller Institutionen besteht, die am Genehmigungsverfahren beteiligt sind. Dieser Kerntechnische Ausschuß will erreichen, daß solche Sicherheitskriterien wirklich Allgemeingut und den technischen Notwendigkeiten angepaßt werden. Wenn die Genehmigung des Standortes von der Einzelprüfung des Reaktors eines Tages unabhängig ist, so müssen andererseits die Reaktormerkmale in der Weise genormt werden, daß sie beispielsweise für eine Gruppe von 4–8 Reaktoren gelten; das würde bedeuten, daß innerhalb von ein oder zwei Jahren an diesen Richtlinien nichts geändert wird. Auf diese Weise würde man rationeller in einen gewissen Serienbau eintreten und diesen Zeitraum dazu verwenden können, die Sicherheitsregeln neuen Erkenntnissen anzupassen.

So würde allmählich eine Arbeitsteilung zwischen der Reaktorsicherheitskommission, der Bundesregierung und dem Bundesinnenministerium einerseits und den mit großer Erfahrung ausgestatteten Länderbehörden andererseits zustande kommen. Es erscheint sehr zweifelhaft, ob ein Bundesamt für Reaktorsicherheit, wie es immer wieder geplant wird, eine bessere und endgültige Lösung darstellt. Die in der Pionierzeit entstandene Vielfalt der Meinungen und des Sachverstandes hat andererseits auch große Vorteile, da sie den reichen Erfahrungsschatz der Genehmigungsbehörden bei den Ländern ergänzen. Erfahrungsgut der

deutschen Gewerbeaufsicht, die von jeher eine der Voraussetzungen für den hohen Leistungsstandard der deutschen Industrie war, sollte auch in Zukunft eine geeignete Grundlage bilden, um für die Kernenergie den maximalen Schutz der Öffentlichkeit zu garantieren.

Problematik eines Volksentscheids

Andererseits müssen die Einflüsse der Politik von technischen Fragen ferngehalten werden. Die Entscheidung über den Bau von kerntechnischen Anlagen kann nicht, wie es die Atomgegner wünschen, einem Abstimmungsverfahren innerhalb der Bevölkerung überlassen werden. Die staatlichen Behörden werden in ihrer Aufgabe mißverstanden und in ihrer Autorität gemindert, wenn sie die Meinung von zufälligen Mehrheiten ohne fachliches Gewicht zur Basis ihrer Entscheidung machen wollten. Kriterien für die Entscheidung können letzten Endes nur die auf Sachverständigenurteil und die volkswirtschaftliche Notwendigkeit gestützte Rechtsprechung sein.

Mit dem Thema »Kernenergie und langfristige Sicherung der Energieversorgung« fand im April 1975 in Nürnberg die Reaktortagung statt, welche das Deutsche Atomforum alljährlich gemeinsam mit der Kerntechnischen Gesellschaft veranstaltet.

Vor etwa 1800 Teilnehmern wurden in 200 Vorträgen alle Fragen behandelt, die diskutiert werden müssen, wenn die Kernenergie mit Erfolg weiterentwickelt werden soll. Viele technische und wissenschaftliche Erfolge können verzeichnet werden. In Biblis bei Worms ist das größte Kernkraftwerk der Welt nach monatelangem erfolgreichen Probelauf dem endgültigen Betrieb übergeben worden. Der Kugelhaufenreaktor in Jülich läuft seit mehr als einem Jahr mit einer Heliumtemperatur von 950 °C. Das sind gute Ergebnisse, die auch international beachtet werden. Man verhandelt mit den deutschen Firmen und Entwicklungsgruppen über große Auslandsprojekte.

Einen außerordentlichen Erfolg, der weltweit Aufsehen erregte, konnte die deutsche Industrie zur Jahresmitte 1975 erzielen. Am 25. Juni unterzeichneten in Bonn die Außenminister Brasili-

ens und der Bundesrepublik Deutschland ein umfangreiches Abkommen über eine Zusammenarbeit zur friedlichen Nutzung von Kernenergie. Es hat Teile des Brennstoffkreislaufs und den Bau von Kernkraftwerken zum Inhalt.

Bis 1990 beabsichtigt Brasilien insgesamt acht Kernkraftwerke von je 1300 Megawatt in Betrieb zu nehmen. Es wird sich dabei um Anlagen jenes Typs handeln, der in Biblis errichtet worden ist und deutlich unter Beweis gestellt ist, daß Deutschland auf nuklearem Gebiet zur Spitzengruppe in der Welt zählt.

Aber im deutschen Raum nehmen die Schwierigkeiten zu, und es fehlt an mutigen Entschlüssen. Karl-Heinz Beckurts, der derzeitige Vorsitzende der Kerntechnischen Gesellschaft, sagte in seiner Eröffnungsansprache: »Wenn die Kernenergie in der Bundesrepublik als Energiequelle durchgesetzt werden soll, so kann das sicher nicht gegen den Willen ihrer Bürger geschehen.«

Aber wer sind die Bürger? Sind es die von mancherlei unterschwelligen Interessen bewegten Bürgerinitiativen, oder sind es die Bürger, die ihrem Staat Verantwortung und Vollmacht erteilt haben? In Gegenwart des Bundesministers für Forschung und Technologie, Hans Matthöfer, umriß der Präsident des Deutschen Atomforums, Heinrich Mandel, Arbeiten und Sorgen dieses Gremiums.

Das Deutsche Atomforum ist jetzt erst recht zum Mittelpunkt all derer geworden, die sich um die Kernenergie und ihre Fortschritte bemühen wollen. Die politischen Voraussetzungen für die Erfüllung des Energieprogramms der Bundesregierung haben sich nicht gebessert. Die Kompetenzen des Technologieministeriums sind beschränkt. Seine Aufgaben sind weit gestreut und nicht nur der schwierigen Kernenergie zugewandt. Das Bundesinnenministerium muß ständig abwägen zwischen Genehmigungen für Kernkraftwerke und Umweltschutz. Das Wirtschaftsministerium muß sich um sein Energieprogramm sorgen. Es ist viel Unentschlossenheit in die deutsche Atompolitik gekommen, mit der sich das Deutsche Atomforum als überparteiliche und der Öffentlichkeit verantwortliche Organisation auseinandersetzen muß.

Gibt es einen Mittelweg?

In den Verhandlungen über die Genehmigungsverfahren sind im Kerntechnischen Ausschuß zweifellos Fortschritte gemacht worden. Aber der Streit um die Standorte der Kernkraftwerke spitzt sich zu. Eine Gruppe von Gegnern hielt monatelang die Baustelle Whyl in Baden-Württemberg, wo ein Kernkraftwerk ordnungsgemäß genehmigt ist, gewaltsam besetzt. Die Autorität des Staates reicht nicht aus, um einen solchen ungesetzlichen Zustand zu beenden. Zu den Kompetenzschwierigkeiten zwischen Bund und Land kommt die Situation der sich oft gegenseitig blockierenden politischen Parteien, die eine herzhafte und mutige Entscheidung kaum noch gestattet. Es fragt sich, ob es nicht zusätzlicher gesetzlicher Maßnahmen bedarf, ob es nicht einen Mittelweg gibt, auf dem solche Fragen der langfristigen Standortfestlegung so geregelt werden, daß sie nicht am ständigen Widerspruch einzelner Bevölkerungsgruppen scheitern können.

Es ist nur ein schwacher Trost, daß zur gleichen Zeit in der benachbarten Schweiz und in Österreich ähnliche Standortstreitigkeiten aufkommen, wenn sie auch nicht in der gesetzwidrigen Form verlaufen wie in der Bundesrepublik Deutschland. Auch an der holländischen Grenze in der Nähe von Kalkar, der Baustelle für den Schnellbrüter, gibt es Störungen und Proteste, die denjenigen zugute kommen, welche das Thema des Brutreaktors immer wieder in polemischer Form aufbringen.

Immer mehr muß erkannt werden, daß die Kernenergie ein europäisches und internationales Anliegen wird. Deswegen bedeutet auch die Gründung der European Nuclear Society, die im April 1975 in Paris ihre erste Tagung mit 3000 Teilnehmern abhielt, zweifellos einen Fortschritt. Es kann nicht genug Menschen geben, die sich sachlich und positiv mit der Kernenergie auseinandersetzen und sich zu diesem Zwecke zusammenschließen.

Berechtigung zur friedlichen Nutzung

Das Deutsche Atomforum hat auch die Probleme der Finanzierung des großen Programmes in Angriff genommen, die auf pri-

vatwirtschaftlicher Basis allein nicht gelöst werden können. Unter Leitung seines Vizepräsidenten, Felix Prentzel, hat sich ein Arbeitskreis von Fachleuten gebildet, der die verschiedenen, hierzu gemachten Vorschläge koordinieren soll.

Was getan werden und was in der breiten Öffentlichkeit verbreitet werden muß, faßte Heinrich Mandel bei seiner Festansprache in Nürnberg so zusammen:

»Alle diejenigen, die in der Kerntechnik als Forscher oder als Anwender, als Hersteller oder als Überwacher tätig sind, haben jedoch die tiefe Überzeugung, daß die Risiken der Kernenergie beherrschbar und die Probleme zu lösen sind. Hieraus leitet sich ihre innere Berechtigung ab, auch weiterhin an der friedlichen Kernenergienutzung zu arbeiten. Die verantwortungsvolle, nüchterne Arbeit von Tausenden von Kerntechnikern der verschiedensten Ausbildungsrichtungen beim Bau und Betrieb von Kernkraftwerken ist ein sich täglich wiederholendes Plebiszit für eine solche friedliche Kernenergienutzung. Auch sie sind Staatsbürger und zum großen Teil Familienväter. Dies sollte man gegenüber den gelegentlich spektakulären Einzelaktionen der Kernenergiegegner nicht vergessen, sondern richtig werten.«

Die Anforderungen an die Kernenergieversorgung können nur befriedigt werden, wenn wirtschaftlicher Unternehmungsgeist und staatliche Entschlossenheit zusammenwirken.

Kapitel 17
Die bleibende Aufgabe

Im März 1975 strahlte der amerikanische Fernsehsender »WGBH-Educational Foundation« mit Sitz in Allston, Massachusetts, eine einstündige Sendung aus, die sich mit dem Mißbrauch von Plutonium und der mit Hilfe dieses Elementes möglichen Herstellung von Atombomben beschäftigte. Ein 20jähriger Chemiestudent habe unter Benutzung allgemein zugänglicher Veröffentlichungen ohne irgendwelche kerntechnischen Spezialkenntnisse das Modell einer Plutoniumbombe entwerfen können. Nach Meinung eines schwedischen Atomphysikers sei dieses Modell verwendbar gewesen.

Damit sollte die Behauptung des amerikanischen Atomphysikers Theodore Taylor bewiesen werden, daß jeder durchschnittlich gebildete Techniker in der Lage ist, eine Atombombe zu bauen, wenn es ihm nur gelingt, in den Besitz von Plutonium zu kommen. Ein Terrorist könnte auf diese Weise in den Besitz einer fürchterlichen Waffe gelangen und die Menschheit erpressen.

Eine andere, ähnlich erschreckende Vision befaßt sich mit der Gefahr der radioaktiven Rückstände, wie sie bei mancherlei technischen und wissenschaftlichen Verfahren unvermeidbar sind. In unserem Zeitalter, so heißt es, möge es wohl noch gelingen, diese Rückstände einwandfrei zu verwahren, etwa in unterirdischen Kavernen oder Salzstöcken. In tausend oder mehr Jahren aber, zu einem Zeitpunkt, zu dem diese Rückstände immer noch gefährlich blieben, könnten die Menschen zu Schaden kommen, weil die Information über die Lagerstätten verlorengegangen sei.

Dadurch könnte den dann lebenden ahnunglosen Menschen ein entsetzlicher Schaden zugefügt werden.

Kaum Chancen für den jungen Mann

Es ist nicht einfach, gegen solche Einwände zu argumentieren. Allerdings ist es sehr unwahrscheinlich, daß der Student wirklich in der Lage wäre, sein Modell auf so einfachem Wege mit Plutonium auszurüsten, ohne dabei gesundheitlichen Schaden zu erleiden oder gar sein Leben zu verlieren. Schon das Entwenden und der Transport sind mit großen Gefahren verbunden, da Plutonium sehr giftig ist und bei unachtsamem Verhalten ungewollt die kritische Ladung erreicht wird. Es sei nur an den jungen amerikanischen Physiker Louis Slotin erinnert, der bei den Versuchen, die kritische Ladung des Urans 235 zu bestimmen, durch eine winzige Unaufmerksamkeit ums Leben kam. Aber überzeugen kann eine solche Gegenargumentation nicht. Terroristen und Geistesgestörte würden sich von ihr wenig beeindrucken lassen.

Mit der Lagerung der radioaktiven Rückstände ist es ähnlich. Wir werden das Problem mit ziemlicher Sicherheit lösen können. Dies gilt aber nur so lange, wie die Zivilisation und die staatlichen Ordnungen bestehen, mit denen wir jetzt leben. Wenn unsere Kulturepoche eines Tages zu Ende sein sollte – ähnlich wie die Städte und Tempel von Ankor Wat einst vom Urwald überwuchert wurden –, dann ist auch die Reichweite unserer Möglichkeiten zu Ende.

Die Unlust an der Kernenergie

Die Widerstände und Argumente gegen die Nutzung der Kernenergie nehmen außerordentlich zu und drohen die unerläßliche Entwicklung zu behindern. Sie werden in den verschiedenen Ländern mit unterschiedlicher Vehemenz vorgebracht.

In den USA, dem Lande einer ungehemmten, freien Meinungsäußerung, sind heute die Gegenkräfte besonders stark. Das Land befindet sich zudem in einer gewissen Krise, die nicht nur durch die wirtschaftliche Rezession, sondern vor allem durch die politischen Rückschläge in Ostasien sowie durch die Erschütterung des Vertrauens in die Staatsautorität im Gefolge der Watergate-Affäre ausgelöst wurde.

Bewußtseinsspaltung

Auch in USA herrscht – wie in anderen Teilen der Welt – im Hinblick auf die Atomenergie eine Art von Bewußtseinsspaltung, in der die Dinge nicht mehr im richtigen Verhältnis gegeneinander abgewogen und eingeschätzt werden. Auf amerikanischem Boden lagern – ebenso wie in der UdSSR und an anderen Stellen der Erde – gewaltige Mengen militärisch verwendbarer Kernbrennstoffe und Atomwaffen, deren Sprengkraft sich menschlichem Vorstellungsvermögen entzieht. Was daraus entstehen kann, wenn solche Bestände sich einmal der staatlichen Aufsicht entziehen könnten, wenn Terror oder Diebstahl Oberhand gewinnen, ist nicht auszudenken.

Noch sehr viel bedrohlicher aber ist die ständige politische Gefahr. Wenn ein Atomkrieg ausbricht oder auch nur eine einzige Bombe in militärischer Absicht eingesetzt wird, sind die Folgen unübersehbar.

Während die Menschen bei der friedlichen Kernenergienutzung ständig das Bewußtsein einer drohenden Gefahr empfinden, haben sie sich längst daran gewöhnt, unter dem ständigen Druck eines möglichen atomaren Krieges zu leben. Die Menschheit rechnet damit, daß die Männer, die an den beiden Enden des »heißen Drahtes« sitzen, immer die Nerven behalten und guten Willens sind, das atomare Potential nicht einzusetzen.

Noch gibt es bei manchen die Erinnerung an die Gefahren des entsetzlichen Gaskrieges im Ersten Weltkrieg. Viele mögen sich mit dem Gedanken trösten, daß im Zweiten Weltkrieg noch sehr viel schlimmere Gaskampfstoffe zur Verfügung standen und doch niemals eingesetzt wurden. Man hielt sich an die Beschlüsse des Genfer Protokolls vom Jahre 1925.

Ob sich eine solche positive Erfahrung wiederholt, ist aber fraglich. Es gibt nicht einmal völkerrechtlich bindende Beschlüsse, die den Einsatz der Atombombe verhindern sollen.

Endgültig kann die Gefahr eines solchen Atomkrieges nur gebannt werden, wenn die Menschheit sich verpflichtet, alle Atombomben zu vernichten und keine neuen herzustellen. Wie eine solche Beseitigung der vorhandenen Bomben technisch geschehen

könnte, ist dabei noch gar nicht beantwortet. Es gibt auch keine Anzeichen dafür, daß ein solcher Beschluß gefaßt werden könnte.

Erst nach einer solchen Verpflichtung ließe sich ein wirklich überzeugender Atomsperrvertrag unterzeichnen, in dem sich die ganze Welt bei allen Vorbereitungen zur friedlichen Nutzung einer internationalen Überwachung fügt.

Die Bundesrepublik Deutschland kann und will nur den Weg der friedlichen Kernenergienutzung gehen. In ihrer politischen Ohnmacht kann sie nur darauf vertrauen, daß es niemals zu einem Krieg kommt. Die Bundesrepublik Deutschland will nicht Atomwaffen herstellen und auch nicht dazu beitragen, daß andere Länder sie herstellen. Andererseits aber hat der Export von Kernkraftwerken, um den sie sich bemüht, zur Folge, daß die Abnehmerländer mit den ausgebrannten Brennelementen Plutonium zur Verfügung haben und daraus Bomben herstellen könnten, wie das in Indien geschehen ist. Aber wenn nicht die deutsche Industrie die Kernkraftwerke liefert, dann wird es ein Wettbewerber tun. Der Erwerb und die Nutzung eines Kraftwerkes kann niemand verwehrt werden. Auch ein Embargo, das ein Teil der Welt gegenüber einem anderen beschließen könnte, kann uns also nicht vor neuen Atommächten schützen. Hier können nur allgemein verbindliche völkerrechtliche Regelungen helfen.

Unheimliche Kernenergie

Wie immer man die Situation betrachtet und die Gewichte verteilt, es bleibt die entsetzliche Gefahr eines Mißbrauchs der Atombomben oder gar eines Bombenkrieges. Andererseits aber bleibt auch der unabdingbare Zwang der Energieversorgung.

Die Verbesserung unserer Umweltverhältnisse, deren Notwendigkeit die Industrieländer nach einer hemmungslosen Periode des technischen Ausbaus jetzt erkannt haben, ist nur möglich durch Einsatz von Energie. Insbesondere wird elektrischer Strom benötigt, der umweltfreundlich erzeugt und transportiert werden kann. Er treibt auch die Einrichtungen an, welche der Reinigung von Abluft und Abwasser dienen.

Die fossilen Brennstoffe müssen für die Zwecke reserviert bleiben, bei denen sie nicht ersetzt werden können. Es ist deswegen auch sinnlos, die Dringlichkeit von Umweltschutz und Kernenergie gegeneinander abzuwägen. Wir müssen unsere Umwelt so gestalten, daß das Leben lebenswert bleibt. Unser Dasein wird aber unerträglich, wenn wir den Bedarf von Primärenergie nicht mehr decken können.

Den Menschen der Dritten Welt, von denen ein großer Teil hungert und selbst auf einfachste Güter des Lebens verzichten muß, kann nur mit einer Technik geholfen werden, die zusätzliche große Energiemengen erfordert. Wüsten müssen bewässert, Seewasser muß entsalzt werden, um die Landwirtschaft zu fördern, die außerdem Pflanzenschutz- und Düngemittel benötigt.

Die politischen Spannungen auf der Erde, die uns so viel Sorgen machen, lassen sich am ehesten beseitigen, wenn alle Menschen über das notwendige Mindestmaß an Nahrungsmitteln, Kleidern und Gütern des täglichen Bedarfs verfügen. Um dieses Ziel zu erreichen, wird Energie in einem Ausmaß benötigt, das bei Berücksichtigung aller bestehenden anderen Möglichkeiten nur durch Nutzung der Kernenergie geschaffen werden kann.

Die Wahrheit ist unbequem

Andererseits aber sind in unserer hochentwickelten Gesellschaft die Menschen verwöhnt und kritisch. Die drohende Bombengefahr hat sie nicht zu Freunden der Kernenergie gemacht.

So wie niemand Lager von Atombomben will, so kritisch betrachtet jeder die Kernkraftwerke sowie die Anlagen zur Anreicherung und zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen.

Die Menschen überhören dann allzu leicht die Mahnungen derjenigen, die Energieplanungen auf längere Sicht aufstellen, und hören auf diejenigen, welche Vorschläge für eine bessere Nutzung der bestehenden Energiequellen machen und sich im Glauben wiegen, daß damit allein auszukommen sei.

Der Schock der Ölkrise klingt ab

Nachdem die akute Energiekrise abgeklungen ist, geht plötzlich der Energieverbrauch, den das Programm der Regierung geschätzt hatte, zurück. Erdöl ist im Überschuß vorhanden. Die Raffinerien sind nicht vollbeschäftigt, die Treibstoff- und Heizöltanks laufen über. Supertanker kreuzen auf den Weltmeeren, damit als schwimmender Lagerraum dienend.

Es ist aber leicht einzusehen, daß es sich hier um eine zwar nicht vorausgesehene, aber verständliche Reaktion auf die Schrecksekunde der akuten Ölkrise handelt. Die plötzliche Teuerung aller mit dem Erdöl zusammenhängenden Produkte hat die Menschen zum Sparen veranlaßt. Die Unausgeglichenheit der Handelsbilanzen durch die Überteuerung des Öls hat den Welthandel gestört und eine allgemeine Wirtschaftsdepression verursacht. Das alles wird nicht von langer Dauer sein. Die Menschen werden Lösungen finden und ihre gewohnte Lebensweise mit ständig steigendem Energieverbrauch wiederaufnehmen.

Die Menschheit muß also zutreffend darüber unterrichtet werden, wie notwendig eine Energievorsorge ist. Wir müssen uns einfach darüber klar sein, daß die Kernspaltung und vielleicht später einmal die Kernfusion die einzigen Wege dazu sind, menschliche Zivilisation auf lange Sicht sicherzustellen.

Andererseits verlangen wir aufgrund unserer demokratischen Gesellschaftsordnung ein Mitspracherecht. Wenn es sich, wie im Falle der Kernenergie, um schwierige naturwissenschaftliche Zusammenhänge handelt, haben die Menschen für ihre Entscheidungen Anspruch darauf, wahrheitsgemäß und allgemeinverständlich informiert zu werden. Diese Information aber ist schwierig. Es melden sich viele Gegenstimmen, die mit ehrlichen und unehrlichen Erklärungen in den Kampf ziehen.

Da sind auch Gegenargumente, die auf politischen Auffassungen beruhen. Offensichtlich gibt es in Deutschland Menschen, welche der Meinung sind, daß Kernkraftwerke in den Händen so mancher Länder ungefährlicher und unbedenklicher seien als in den Händen der westlichen Industrienationen. Hier stehen politische Fronten und Weltanschauungen gegeneinander.

Es gibt aber andere, die mahnen, die Anforderungen an den Lebensstandard zu verringern. Schließlich aber treten auch Fachleute auf, die aus innerster Überzeugung der Ansicht sind, daß mit der Kernenergie zu eilig vorgegangen wird. Allen diesen Meinungen steht die Öffentlichkeit ziemlich hilflos gegenüber. Sie beurteilt daher die Gefahren – unter den verschiedensten Gesichtspunkten – sehr subjektiv.

Es bleibt die notwendige Verpflichtung, die Menschen ehrlich zu informieren, und über alles, was noch ungewiß ist, öffentlich zu diskutieren. Der Staat muß dafür sorgen, daß die Unterrichtung der Öffentlichkeit fair und ehrlich erfolgt.

Die Naturwissenschaft muß verständlich werden

Dabei müssen Naturwissenschaftler und Techniker unterscheiden lernen, was sie selbst für aufklärungsbedürftig halten, und was die Öffentlichkeit zu ihrer Information wissen will. Diese Fragestellungen sind nicht identisch, denn das Wissensbedürfnis der Naturwissenschaftler ist fast immer ein anderes als das der Öffentlichkeit, die nach Orientierung sucht.

Die Menschen beurteilen jede Gefahr zunächst nur danach, wie nahe sie ihnen ist, und ob sie persönlichen Einfluß auf die Ereignisse haben. Wir alle wissen, daß Autofahren gefährlich ist und jährlich viele Tote und Schwerverletzte kostet. Aber niemand ist gezwungen zu fahren; jedermann steht es frei, diese Gefahren auf sich zu nehmen.

Gefahren werden Gewohnheit

Gefahren, die uns bekannt sind, lösen bei uns unterschiedliche Reaktionen aus. Wenn wir nicht gezwungen sind, sie auf uns zu nehmen, so sehen wir sie anders, als wenn sie als Folge einer Entwicklung zwangsläufig auf uns zukommen. Wir benutzen alle den elektrischen Strom; die vielen Unfälle in Haushalten erinnern daran, wie gefährlich er im täglichen Leben sein kann. Aber der Mensch hat jahrzehntelang Zeit gehabt, die Nützlichkeit des elek-

trischen Stromes zu erkennen und sich an seine Gefahren zu gewöhnen.

Aus der im vorigen Jahrhundert sich nach und nach entwickelnden Theorie des Elektromagnetismus ist die Dynamomaschine durch Werner von Siemens geschaffen worden. Seitdem beherrscht man die Herstellung und Verwendung des elektrischen Stromes und kann Unfälle vermeiden, wenn alle Sicherheitsvorschriften und Erfahrungen befolgt werden. Größere Katastrophen sind daraus bisher nicht entstanden. Infolgedessen leben wir sorglos mit der Elektrizität.

Dem Menschen ist seit Jahrtausenden Nutzen und Gefahr des Feuers bekannt. Das Feuer diente ihm als unentbehrliches Hilfsmittel. Er hat es aber auch als Vernichtungswaffe in Kriegen eingesetzt. Große Katastrophen sind durch Feuersbrünste ausgelöst worden. Dennoch, das Feuer genoß göttliche Verehrung und war zugleich gefürchtet. Es wurde genutzt, ohne daß die theoretischen Zusammenhänge der Verbrennung bekannt waren. Als James Watt 1765 die Dampfmaschine erfand, glaubte er noch, daß die Verbrennung der Kohle durch geistige Mitwirkung des Phlogistons, einer unbekannten Substanz, zustande käme, die sich aus dem brennenden Material entwickeln sollte.

Erst im Zeitalter der Französischen Revolution bewies Lavoisier, daß sich bei der Verbrennung definierte Mengen Sauerstoff aus der Luft mit dem Kohlenstoff verbinden. Aber die Menschen glaubten noch jahrzehntelang an die Phlogistontheorie. Mit dem Feuer fühlte man sich eben längst verbunden.

Immer dauerte es eine lange Zeit und bedurfte einer Fülle von Erfahrungen und Experimenten, bis der Mensch mit den großen Entdeckungen und ihrer Nutzung so vertraut war, daß er sie nicht mehr fürchtete. Soweit ist es mit der Kernenergie noch lange nicht. Sie ist allzu schnell auf uns zugekommen, noch dazu anfangs unter entsetzlichen Begleitumständen.

Deshalb muß immer wieder erörtert werden, wie Gefährdungen und Zerstörungen entstehen können, und wann eine nützliche Wirkung erreicht wird. Das ist die ständige Aufgabe aller, die mit der Kernenergie beschäftigt sind und die Menschen vom Nutzen dieses Tuns überzeugen wollen.

Hier geht es darum, die Bereitschaft zu erwecken, ein notwendiges Risiko zu akzeptieren, wenn Ausmaß und Nutzen des neuen Weges bekannt sind.

Wie groß ist dieses Risiko?

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen das Risiko zahlenmäßig zu erfassen. Bekannt ist die Aussage, daß der sogenannte GAU – der *g*rößte *a*nzunehmende *U*nfall – nur mit einer Häufigkeit von 10^{-9} pro Anlage und Jahr auftritt, also mit vernachlässigbar kleiner Wahrscheinlichkeit.
Aus einer derartigen deterministischen Analyse von Störungen und Störungsabläufen wird zugleich abgeleitet, wie durch ständige Verbesserung der Anlagen Fehlerquellen eliminiert werden können. Unbekannt bleiben gewisse in die Überlegungen eingehende Einzelwahrscheinlichkeiten, über die noch zu geringe Erfahrungen vorliegen. Offen bleibt auch die Frage, ob die Analysen vollständig sind.

Die Öffentlichkeit behält aus derartigen Risikobetrachtungen das Gefühl, daß Fehlerquellen möglich oder denkbar sind und auch vorausgesetzt werden. Sie meint, daß damit indirekt auch eingestanden wird, daß der Verbesserung der Anlage Grenzen gesetzt sind.

Daß ein gewisses Restrisiko verbleibt, liegt in der Natur der Sache und muß auch zugegeben werden.

Offenbar kann die Frage, ob ein gewisses Restrisiko für die Öffentlichkeit annehmbar ist, nicht durch die Wissenschaft allein beantwortet werden. Die Antwort könnte durch Studien aus dem psychologisch-soziologischen Bereich erleichtert werden. Auf welchem Weg jedoch der einzelne in die Lage versetzt werden kann, bei einer derartigen Entscheidung mitzuwirken, ist ein Problem, das in den politischen Bereich gehört. Denn ob ein Risiko akzeptabel ist, kann nicht allein dem Urteil der Experten überlassen werden, sondern ist in einer demokratischen Gesellschaft eine Angelegenheit der Allgemeinheit.

Wenn wir den Weg der Kernenergie gehen wollen, müssen wir

uns des Risikos bewußt sein und die Öffentlichkeit aufklären. Es ist schon eine gewaltige Aufgabe, die darin liegt, daß wir aus so geringen Mengen an Masse so ungeheure Energiemengen freisetzen, und daß wir dabei Elemente wie Plutonium erzeugen, die es auf unserer Erde bisher nicht gab, und die nun für alle Zeiten beobachtet und beherrscht werden müssen. Für Naturwissenschaftler und Techniker ist das ein ungeheures Arbeitsfeld.

Trotzdem aber bleibt die Notwendigkeit, das Risiko jederzeit abzuwägen. Dabei kann nur die Erfahrung nützen. Sie und ihre Nutzung bestimmen unser Leben. Von einer Schutzimpfung wissen wir, wieviel Schadensfälle vorkommen können. Von einem Medikament müssen wir die Schadensquoten über Jahre hinaus bestimmen, ehe wir es freigeben.

Nur so können wir auch Sicherheit und Vertrauen für die Kernenergie schaffen und verbreiten. Wir kennen seit nahezu 40 Jahren die Gefahren der Strahlung. In dieser Zeit waren viele Hunderttausende von Menschen genau erfaßten Grenzwerten ausgesetzt, ohne daß sie geschädigt worden sind. Diese Erfahrungen sind zuverlässig. Alarmnachrichten, die das Gegenteil behaupten, haben sich stets als falsch erwiesen. Die Grenzwerte, die von der Internationalen Strahlenschutz-Organisation festgesetzt worden sind, müssen eingehalten werden. Bei den bisherigen Kernreaktoren sind sie bei weitem nicht erreicht worden.

Niemals ist eine Gefährdung außerhalb eines Reaktorsicherheitsgebäudes eingetreten, wenn die Sicherheitseinrichtungen dem Stand der Technik entsprachen. Die Grenzwerte betreffen den Menschen innerhalb der Anlagen wie auch in der Umgebung. Die in den Anlagen eingebauten Sicherheitsbarrieren haben bisher ausgereicht. Man wird ihnen also so lange vertrauen können, bis man noch bessere gefunden hat.

Die wenigen Störungen, die bisher innerhalb von Kernkraftwerken eingetreten sind, konnten meist auf Konstruktionsmängel, Materialfehler oder auch menschliches Versagen der Bedienung zurückgeführt werden. Man hat daraus gelernt und wird das mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln auch weiter tun. Jede Ursache, die als Störungsmöglichkeit erkannt wird, muß behoben werden. Sie hat dann aber auch dazu gedient, neue Erkenntnisse

zu gewinnen. Wenn der Grad an Sicherheit mit den jetzt in großer Zahl errichteten Kernkraftwerken ohne Katastrophe erreicht worden ist, so wird das auch mit den bevorstehenden Aufgaben gelingen.

Die sorgfältige Überwachung aller Unfallmöglichkeiten und die öffentliche Diskussion aller Mängel und aller neuen Erkenntnisse ist der einzig zuverlässige Weg, Schäden und Katastrophen endgültig zu vermeiden.

Die gesetzlich festgelegten Institutionen und Behörden, welche sich dieser Probleme annehmen, haben in Deutschland eine nahezu hundertjährige Tradition. Sie haben bisher eine in der ganzen Welt vorbildliche Sicherheitsordnung gewährleistet und auch auf dem Gebiet der Kernenergie jeglichen ernsthaften Schaden verhütet.

Die Garantie für die Sicherheit

Die Reaktorsicherheitskommission der Bundesregierung und das Institut für Reaktorsicherheit, die Sicherheitsbehörden der Bundesländer, der Kerntechnische Ausschuß und nicht zuletzt das Deutsche Atomforum stellen Institutionen dar, die über das gesamte bekannte Wissen auf diesem Gebiet verfügen. Sie können in unserem geordneten Staatswesen dafür garantieren, daß alle Störungs- und Gefahrenquellen entdeckt und beseitigt werden. Es kommt hinzu, daß dank eines offenen internationalen Austausches die Erfahrungen der ganzen Welt zur Verfügung stehen. Es muß nur immer dafür gesorgt werden, daß Sorgfalt und Aufmerksamkeit wach bleiben und daß die Öffentlichkeit über alle Ereignisse und vorbeugenden Maßnahmen orientiert wird.

Ein solches Fundament an Sicherheit und Vertrauen ist die Grundlage und die Voraussetzung für das Zusammenleben in unserer modernen Gesellschaft. Deren Existenz ist von zahllosen Gefahren bedroht, die gemeistert werden müssen. Die eigenen Erinnerungen an die chaotischen Zustände der Kriegs- und Nachkriegszeiten wie auch unser Wissen von den furchtbaren Schicksalen vieler Menschen, die in unserer Zeit von Naturkatastrophen oder regionalen militärischen Auseinandersetzungen be-

droht sind, lehren uns, daß wir ohne Ordnung nicht existieren können.

Zu allen Zeiten haben die Völker die Voraussetzungen ihres Daseins mit Gesetzen geregelt und deren Einhaltung erzwungen. Das ist heute erst recht notwendig. Wenn unsere staatliche Ordnung mit Bürgerkriegen, Verbrechen und Terroristen nicht fertig wird, kann der komplizierte Apparat unseres öffentlichen Lebens nicht in Gang gehalten werden. Es bedarf eines hohen sittlichen und moralischen Verhaltens der Völker, um in demokratischer Gemeinsamkeit solche Ordnung aufrechtzuerhalten.

Wenn wir jetzt zuweilen erkennen, daß die Ordnung in unseren Staaten gefährdet ist, so können wir dadurch entstehende Gefahren nicht einfach hinnehmen und als Risiko einkalkulieren. Wir müssen dafür sorgen, daß die Sicherheit in unserem staatlichen Zusammenleben erhalten bleibt. Darin liegt die letzte, wichtigste Voraussetzung für unsere Gesellschaftsordnung.

Die komplizierten Vorgänge, nach denen sich der Waren- und Rohstoffaustausch in der Welt vollziehen muß, unterliegen gleichfalls solchen Ordnungsprinzipien, ohne die wir weder unseren Lebensstandard erhalten noch den der unterentwickelten Länder heben können.

Wir wissen, daß für die Ernährung und alle anderen Lebensbedingungen der Menschen die Energieversorgung wichtigste Voraussetzung ist. Dafür ist ein gemeinsamer Einsatz notwendig. Er besteht darin, daß wir nach vereinbarten Regeln leben und gewisse Leistungen erbringen müssen, daß wir zum Risiko bereit sind, zur gegenseitigen Rücksichtnahme und zu enormen Anstrengungen – aller für alle.

Eine solche Aufgabe ist im besonderen Maße auch die friedliche Nutzung der Kernenergie.

Anhang

Quellen und Literatur
Personenregister
Sachregister

Quellen und Literatur

Angelopoulos, A.: *Atomenergie und die Welt von morgen,* Göttingen 1956

Armand, L./Etzel, F./Giordani, F.: *Ziele und Aufgaben für Euratom,* Luxemburg 1957

Asimov, I.: *Biographische Enzyklopädie der Naturwissenschaften und der Technik,* Freiburg 1973

Bagge, E./Diebner, K./Jay, K.: *Von der Uranspaltung bis Calder Hall,* Hamburg 1957

Boorse, H. A./Motz, L.: *The World of the Atom,* New York 1966

Braunbek, W.: *Forscher erschüttern die Welt,* Stuttgart 1958

Braunbek, W.: *Grundbegriffe der Kernphysik,* München 1971

Brown, A./Teller, E.: *Das Vermächtnis von Hiroshima,* Düsseldorf und Wien 1963

Cartellieri, W./Hocker, A./Schnurr, W.: *Taschenbuch für Atomfragen 1959,* Bonn 1959

Cartellieri, W./Hocker, A./Schnurr, W./Weber, A.: *Taschenbuch für Atomfragen 1960/61,* Bonn 1960

Cartellieri, W./Hocker, A./Weber, A.: *Taschenbuch für Atomfragen 1964,* Bonn 1964

Cartellieri, W./Heppe, H. v./Hocker, A./Weber, A.: *Taschenbuch für Atomfragen 1968,* Bonn 1968

Ducrocq, A.: *Atomwissenschaft und Urgeschichte,* Hamburg 1957

Eitz, A.-W.: *Die Entwicklung der Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland* (Vortrag), hg. vom Deutschen Atomforum e.V., Bonn 1975

Fermi, L.: *Atoms for the World,* Chicago 1957

Finkelnburg, W.: *Einführung in die Atomphysik,* Berlin, Heidelberg, New York 1967

Gerwin, R.: *Atomenergie in Deutschland,* Düsseldorf und Wien 1964

Gerwin, R.: *Kernkraft heute und morgen,* Stuttgart 1971

Gerwin, R.: *Prometheus wird nicht sterben,* Düsseldorf und Wien 1974

Glasstone, S.: *Sourcebook on Atomic Energy,* London 1967

Groueff, S.: *Manhattan Project,* Boston 1967

Groves, L. R.: *Now it can be told,* New York 1962

Hahn, O.: *Mein Leben,* München 1968

Hahn, O.: *Cobalt 60,* Göttingen 1955

Hardung-Hardung: *Chancen in der Atomwirtschaft,* Düsseldorf 1958

Heisenberg, W./Wirtz, K.: *Großversuche zur Vorbereitung der Konstruktion eines Uranbrenners,* in: Fiat Review of German Science, Wiesbaden 1948

Hughes, D. J.: *Über die Kernenergie,* in: Sammlung »Wissen und Leben«, Bd. 7, Wiesbaden o. J.
Irving, D.: *Der Traum von der deutschen Atombombe,* Gütersloh 1967
Jungk, R.: *Heller als tausend Sonnen,* Hamburg 1964
Kliefoth, W.: *Vom Atomkern zum Kernkraftwerk,* München 1963
Kliefoth, W.: *Atomkernreaktoren,* in: Schriftenreihe des Deutschen Atomforums e. V., Heft 2, Bonn 1964; neue überarbeitete 5. Auflage mit E. Sauter u. d. T.: *Kernreaktoren,* Bonn 1973
Küchler, L.: *Chemisch-technologische Probleme in der Kerntechnik,* in: Winnacker-Küchler, Chemische Technologie, 3. Aufl., Bd. 2, München 1970
Kurz, K.: *Wege zur Atomenergie und ihrer Verwendung,* Bremen 1955
Lapp, R. E.: *Atoms and People,* New York 1956
Laurence, W. L.: *Menschen und Atome,* München 1961
Lindackers, K.-H./Aurand, K./Hug, O./Kiefer, H./Krämer, H./Seetzen, J./Trott, K.-R.: *Kernenergienutzen und Risiko,* Stuttgart 1970
Löwenthal, G.: *Wir werden durch Atome leben,* Berlin 1956
Marfeld, A. F.: *Atomenergie in Krieg und Frieden,* Berlin 1966
Metzger, H. P.: *The Atomic Establishment,* New York 1972
Michelmore, P.: *The Swift Years/The Robert Oppenheimer Story,* New York 1969
Moore, R.: *Niels Bohr,* München 1970
Müller, W. D.: *Atom ABC,* Düsseldorf und Wien 1959
Müller, W. D./Hossner, R.: *Jahrbücher der Atomwirtschaft (1970–1975),* Düsseldorf
Münzinger, F.: *Atomkraft,* Berlin 1955
Seaborg, G. T./William, R. C.: *Man and Atom,* New York 1971
Smith, H. De Wolf: *Atomenergie und ihre Verwertung im Kriege,* Basel 1947
Steinert, H.: *The Atom Rush,* London 1958
Strauss, L. L.: *Men & Decisions,* London 1963
Wendt, G.: *Die friedliche Verwendung der Kernenergie,* Frankfurt/M. 1957
Winnacker, K.: *Nie den Mut verlieren,* Düsseldorf und Wien 1971
Wirtz, K.: *Acceptable Levels of Risk and Why,* in: Proceedings of the Fast Reactor Safety Meeting (Conf.–740401), hg. von United States Atomic Energy Commission (USAEC), Washington 1974
Wirtz, K.: *Lectures on Fast Reactors,* Karlsruhe 1973
Wirtz, K.: *Advanced Nuclear Power Reactors,* in: Jornadas Internationales Sobre Investigation Cientifica y Probleme Energetico, Madrid 1974, und als INR Arbeitsbericht Nr. 594/74, KFZ Karlsruhe
Wirtz, K.: *Fast Reactor Development in Germany,* in: Proceedings of the American Power Conf. Vol. 34, 1972 (in Conf.–700401), hg. von United States Atomic Energy Commission (USAEC), Washington; siehe auch *Gas cooled Reactor Information Meeting* Oak Ridge 1970 sowie *Advanced Reactors in Germany,* in: Advanced Reactors, Gatlinburg 1974

atominformationen, hg. vom Deutschen Atomforum e. V., Bonn 1961
Atomstrahlung in Medizin und Technik (Tagungsband), hg. vom Deutschen Atomforum e. V. u. a., München 1964
atw atomwirtschaft-atomtechnik, hg. vom Verlag Handelsblatt, Düsseldorf (seit 1955)
Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland, hg. vom Deutschen Atomforum e. V., Bonn 1974

Personenregister

Sachregister